

# СУДОСТРОЕНИЕ

Издаётся с 1898 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0039-4580

**ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ**

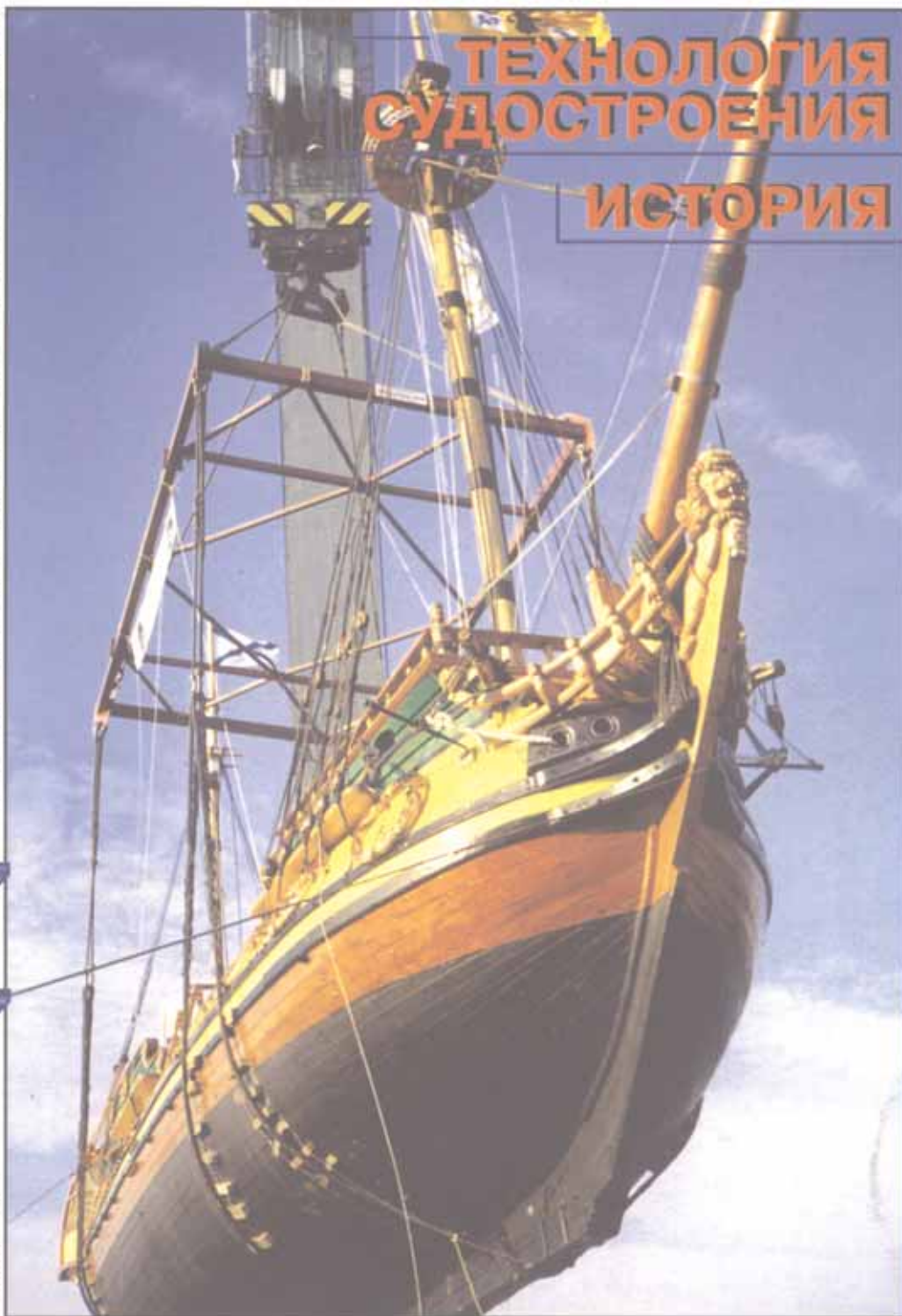
**№5  
1999**

**ВОЕННОЕ  
КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**

**СУДОВОЕ  
ОБОРУДОВАНИЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ  
СУДОСТРОЕНИЯ**

**ИСТОРИЯ**



(726) сентябрь—октябрь  
Издается с сентября 1898 г.

**Главный редактор**  
О. П. Ефимов

**Редакционная коллегия:**

Г. П. Альфер,  
А. А. Андреев,  
Н. В. Барabanов,  
В. В. Беляшин,  
В. В. Войтецкий,  
В. Д. Горбач,  
И. В. Горынин,  
В. С. Дорин,  
И. Г. Захаров,  
С. Д. Климовский,  
А. В. Кутейников,  
Н. А. Лазаревский,  
В. Ф. Мануйлов,  
О. М. Палий,  
Д. Г. Пашаев,  
В. М. Пашин,  
Л. П. Седаков,  
А. Н. Ситников,  
В. Е. Спиро,  
В. Ф. Суслов,  
В. С. Чачко,  
В. В. Шаталов,  
В. Е. Юхнин

**Зам. главного редактора**

А. Н. Хаустов  
тел. (812)186-05-30  
факс: (812)186-04-59  
E-mail: cniits@telegraph.spb.ru

**Ответственный секретарь**

В. В. Климов  
тел. (812)186-16-09

**Редакторы отделов:**

Н. Н. Афонин,  
В. Н. Хвалынский  
тел. (812)186-16-09

**Адрес редакции:**

Россия, 198095, Санкт-Петербург,  
Промышленная ул., 7

**Журнал издается**

**Государственным научным  
центром ЦНИИТС**

Журнал зарегистрирован в Министерстве  
печати и информации РФ.

Свидетельство о регистрации № 012360

© Журнал «Судостроение», 1999

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ</b>	<b>3</b>
<b>ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ</b>	
Билен Б., Жерьял М., Билен-Катич Б., Лайич З., Маринкович М., Янкович З. Новый подход к проектированию буксиров-толкачей	9
Шелангевич Т. Перемещение и качка судна с якорной системой позиционирования	15
Шитов А. И. Аналитический метод расчета несущей способности оболочек подводных технических средств	20
<b>ВОЕННОЕ КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ</b>	
Никифоров Б. В. Развитие систем электропривода подводных лодок	23
Худяков Л. Ю. «Virginia» — вместо или вместе с «Seawolf»?	25
<b>СУДОВЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ</b>	
Долгов В. Н. Перспективы создания подземных атомных электростанций на базе корабельных технологий	32
Плотников Ю. И. Компьютеризированная система визуального контроля судовых энергетических установок	36
<b>СУДОВЫЕ СИСТЕМЫ И УСТРОЙСТВА</b>	
Старцев С. Б., Старцев Б. А. Оптимальные условия воздухообмена в замкнутых судовых помещениях для обеспечения санитарно-гигиенических норм	40
Техника трубных соединений фирмы STRAUB	42
<b>МОРСКОЕ ПРИБОРОСТРОЕНИЕ</b>	
Петров Г. П., Козловский К. Л., Тогатов Д. В., Петров А. И. Импульсные источники питания судовых систем автоматики и вычислительных комплексов	43
Высоцкий В. И., Иваненко Н. С., Коровичев Б. К., [Никифоров Е. М.] Определение упругих и демпфирующих характеристик плавучего провода, используемого в современных системах связи	45
<b>ТЕХНОЛОГИЯ СУДОСТРОЕНИЯ</b>	
Гаврилюк Л. П. Определение сертификационной жесткости корпусов подводных лодок при ремонтных работах на плаву	48
Ильин А. В., Леонов В. П., Хвалынский В. Н. Влияние остаточных напряжений от сборки и сварки монтажных стыков на циклическую прочность корпусных конструкций	50
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТДЕЛ</b>	
Романов А. В. Зеленодольскому ПКБ — 50 лет (54). Вопросы Российского агентства по судостроению (59). Программа возрождения торгового флота России будет продлена до 2005 года (61). Чантурия Н. Три удара правительства, которые разрушили судостроение Украины (64). Фрегат «Штандарт» — осуществленная мечта (65). Зарубежная информация (68). Николаю Иосифовичу Кваше — 70 лет (22).	
<b>ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ</b>	
Черников И. И. Тяжелые канонерские лодки Днепровской военной флотилии	70
Бирюк В. С. Судоремонт на Черном море в годы Великой Отечественной войны	73
Балабин В. В., Волков А. В. Деятели российской школы прикладной механики в эмиграции: Г. Н. Пио-Ульский	76

# SUDOSTROENIE

## SHIPBUILDING

(726) September—October

Published since September 1898

## CONTENTS

<b>AT THE SHIPYARDS</b>		
<b>SHIP DESIGN</b>		
Bilen B., Zheryal M., Bilen-Katic B., Laiich Z., Marinkovich M., Yankovich Z. A new approach to the design of pusher-tugs	9	
Shelangevich T. Movement and motions of a ship with anchor positioning system	15	
Shitov A.I. Analytical method of calculation of bearing capacity of shells for underwater technical facilities	20	
<b>NAVAL SHIPBUILDING</b>		
Nikiforov B.V. Evolution of electric propulsion systems for submarines	23	
Khudyakov L.Yu. The «Virginia» — instead or together with the «Seawolf»?	25	
<b>SHIPBOARD POWER PLANTS</b>		
Dolgov V.N. Outlook for the development of underground nuclear power stations based on shipbuilding technologies	32	
Plotnikov Yu.I. Computer-aided multipurpose system for visual supervision of marine powerplant technical facilities	36	
<b>HULL GEAR AND AUXILIARIES</b>		
Startsev S.B., Startsev B.A. Optimum conditions of air exchange in enclosed ship spaces	40	
Straub's technique of pipe joints	42	
<b>MARINE INSTRUMENTS</b>		
Petrov G.P., Kozlovsky K.L., Togatov D.V., Petrov A.I. Pulsed power sources for shipboard automation and computer systems	43	
Vysotsky V.I., Ivanenko N.S., Korovichev B.K., Nikiforov E.M. Determination of elastic and damping characteristics of floating wire used in modern communications systems	45	
<b>SHIPBUILDING TECHNOLOGY</b>		
Gavriluk L.P. Determination of certified rigidity of submarine hull under repair afloat	48	
Ilyin A.V., Leonov V.P., Khvalynsky V.N. Evaluation of the effect of residual stresses resulting from assembly and welding of erection joints on cyclic strength of hull structures	50	
<b>INFORMATION SECTION</b>		
Romanov A. V. 50 years of Zelenodolsky Design Bureau (54). The issues of Russian Shipbuilding Agency (59). The Russian Merchant Fleet Revival Program will be prolonged up to 2005 (61). Three blows of the Government which destroyed Ukrainian shipbuilding (64). Frigate «Shtandart», a dream that has come true (65). News from aboard (68). Nikolay Iosifovich Kvasha is 70 years old (22).		
<b>HISTORY OF SHIPBUILDING</b>		
Chernikov I.I. Heavy gunboats of the Dnieper naval flotilla	70	
Biryuk V.S. Ship repair in the Black Sea during Great Patriotic War	73	
Balabin V.V., Volkov A.V. Scientists of Russian school of applied mechanics in emigration: G.N. Pio-Ulsky	76	

Подписка на журнал «Судостроение» (индекс 70890) в России и СНГ может быть оформлена в почтовых отделениях, а также непосредственно в редакции. Подписной талон — на стр. 47

На 1-й стр. обложки — фрегат «Штандарт» (фото А. Н. Хаустова); на 3-й стр. — репродукции с почтовых открыток из собрания Л. А. Кузнецова

Журнал выпущен при поддержке ГУП «Адмиралтейские верфи», ЦКБ МТ «Рубин», ГНЦ ЦНИИКМ «Прометей», ГНЦ ЦНИИ «Гидроприбор», ЦМКБ «Алмаз», ОАО «Новая ЭРА»

Редакция журнала «Судостроение» принимает заказы на публикацию рекламных объявлений.

The editorial board of the journal «Sudostroenie» takes orders for publication of advertisements

**Литературные редакторы**

С. В. Силякова,  
Е. П. Смирнова,  
Н. Э. Смирнова

**Компьютерная верстка**

Г. А. Князева,  
Л. П. Козлова

**Цветоделение**

Д. Н. Демичев

**Перевод**

Л. Н. Федосеев

**Графика**

И. Б. Армеева

За точность приведенных фактов, достоверность информации, а также использование сведений, не подлежащих публикации в открытой печати, ответственность несут авторы

При перепечатке ссылка на журнал «Судостроение» обязательна

Печать — ООО «ЛИСОВ АВС»  
190000, Санкт-Петербург,  
Исаакиевская пл., д. 7/1

Подписано в печать 12.11.99 г.  
Формат 60 x 90/8. Гарнитура FuturaBookC.  
Печать офсетная. Усл. печ. л. 10.  
Каталожная цена 50 руб.

Адрес издательства:

Россия, 198095, Санкт-Петербург,  
Промышленная ул., 7, ЦНИИТС  
<http://www.bestrussia.com/net/ritm/index.htm>

Лицензия ЛР № 040801

# НА ПРЕДПРИЯТИЯХ СУДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ОТРАСЛИ

## ГУП «ПО «СЕВЕРНОЕ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»»

Семь футов под килем пожелал новой атомной подводной лодке «Гепард» Председатель Правительства России В. В. Путин во время посещения правительственной делегацией ПО «СМП» 17 сентября, в день вывода корабля из цеха. Кроме участия в этом знаменательном событии, В. В. Путин осмотрел предприятие, расписался в Книге почетных гостей заводского музея, провел заседание комиссии по военно-промышленным вопросам, на котором рассматривались проблемы судостроительной промышленности, а также статуса Северодвинска.

Значительные ремонтные и модернизационные работы в ближайшие три года предстоит выполнить ПО «СМП» на двух крупных надводных кораблях — тяжелом авианесущем крейсере «Адмирал Горшков» и тяжелом атомном ракетном крейсере «Адмирал Нахимов». Первый из них прибыл на предприятие в июле, второй — в августе этого года. Только на ТАВКР «Адмирал Горшков» ориентировочно может быть занято до 1,5 тыс., а в пик загрузки — до 3 тыс. чел. Идеолог работ — главный проектант подобных кораблей Невское ПКБ. Однако большая нагрузка ляжет на заводских конструкторов ПКБ «Севмаш».

Продолжаются работы на МЛСП «Приразломная». Финансировавшая ранее проект австралийская компания ВНР отказалась от участия в освоении нефтяного месторождения Приразломное в Печорском море. Нужен был новый надежный партнер. Им стала немецкая фирма Wintershall AG. Ее представи-

тели побывали в ПО «СМП», ознакомились с ходом строительства платформы, подписали необходимые документы.

Развивается сотрудничество ПО «СМП» с голландской фирмой «Дамен». Новый контракт подписан на шесть малых 15-тонных буксир-толкачей (пр. 1204) и четыре 25-тонных буксира-толкача (пр. 1405) со сроком поставки 1999—2000 гг. Заключен также контракт со шведской фирмой «Виста» на изготовление шести корпусов большегрузных подъемно-транспортных понтонов дедевейтом по 15 тыс. т, причем классификационный проект был разработан ПКБ «Севмаш».

## ГУП «АДМИРАЛТЕЙСКИЕ ВЕРФИ»

2 сентября 1999 г. со стапеля ГУП «Адмиралтейские верфи» спущен на воду головной танкер-продуктовоз арктического плавания «Астрахань» дедевейтом 20 000 т.

Серия судов этого проекта (20070) строится для АО «ЛУКОЙл—Арктик—Танкер». Обращаясь к многочисленным гостям, присутствовавшим на спуске, генеральный директор «Адмиралтейских верфей» В. Л. Александров сказал: «На этот танкер, спроектированный в значительной степени силами собственного конструкторского бюро, мы возлагаем особые надежды, связанные с возрождением Российского торгового флота. Создание судна такого класса стало неординарным делом для адмиралтейцев. Прежде всего потому, что в ходе его проектирования и строительства мы на практике проверяем правильность своего подхода к формированию портфеля заказов, внедряем современные автоматизированные методы проектирования судов и информационные технологии управления производством, выверяем экономическую политику в условиях рынка».

С рождением нового судна адмиралтейцев поздравили замести-



Головной танкер-продуктовоз «Астрахань» дедевейтом 20 000т после спуска на воду с наклонного стапеля ГУП «Адмиралтейские верфи»

В подборке использованы информационные материалы, предоставленные редакции предприятиями и организациями, а также материалы газет «Адмиралтеец», «Корабел», «Красный сормович», «Судостроитель», «Технический прогресс», «Балтиец», журналов «Нефтегазовая вертикаль», «Рыбное хозяйство».

тель председателя Правительства России И. И. Клебанов, президент компании «ЛУКойл» В. Ю. Алекперов, губернатор Санкт-Петербурга В. А. Яковлев.

Основные проектные элементы и характеристики нового танкера: размеры 155,6/147,2 x 24,5 x 13,4 м, осадка 9,8/9 м, валовая вместимость 14 600 рег. т, дальность плавания 8000 миль, автономность 40 сут, вместимость грузовых танков 22 950 м<sup>3</sup> (включая отстойные), объем танков для изолированного балласта 8090 м<sup>3</sup>, главный двигатель — 6ДКРН50/191 мощностью 8580 кВт при 127 об/мин, скорость 15,4 уз, диаметр ВРШ 5,4 м, мощность носового подруливающего устройства 700 кВт, электроэнергетическая установка 3 x 850 кВт и 1 x 200 кВт, грузовые насосы 4 x 600 м<sup>3</sup>/ч, балластные насосы 2 x 600 м<sup>3</sup>/ч. Класс Российского Морского Регистра Судоходства — КМ ★ УЛ □ А1 — нефтеналивное (ОРП).

**ГНЦ ЦНИИТС**

В ноябре 1999 г. в Санкт-Петербурге состоялась конференция «Технология судостроения и судоремонта на пороге XXI века», посвященная 60-летию ЦНИИ технологии судостроения. На пленарном заседании специалисты института выступили с докладами на такие темы, как «Реструктуризация судостроительных верфей Санкт-Петербурга в XXI веке», «Применение новых мето-

дов и направлений исследований в технологии судостроения», «Новые металлические материалы в XXI веке», «Тенденции и перспективы развития судостроительных заводов («Союзпроектверфь)», «Состояние и перспективы создания новых видов продукции (КБ «Армас)», «Состояние и перспективы разработок проектов новых рыбопромысловых, транспортных и научно-исследовательских судов (КБ «Восток)».

Дальневосточный НИИТС представил доклад «Состояние и перспективы развития судостроения и судоремонта в регионе Дальнего Востока», Украинский НИИТС — «Основные направления развития технологии судостроения на судостроительных заводах Украины», Черноморский НИИТС — «Надежность и долговечность перспективных судов и кораблей XXI века», ГУП «Адмиралтейские верфи» — «Перевод проектирования на предприятия-строители и создание на них инженерных центров — основное направление совершенствования постройки судов», ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова и ЦНИИТС — «Технология атомного судостроения в энергетическом комплексе России».

Работа конференции проходила на двух основных секциях: принципиальной технологии, автоматизации судостроительного производства и корабельной акустики; корпусостроения, механомонтажных работ и новых материалов. Кроме того, был сделан ряд стендовых докладов. На конференции вы-

ступили по актуальным темам специалисты ЦНИИ КМ «Прометей», Северного ПКБ, ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, Адмиралтейских верфей, Балтийского завода, СПбГМТУ, НИИ «Мортеплотехника», НИИ «Электростандарт», завода «Ладога», ЦНИИ СЭТ, ЦНИИСМ, других предприятий отрасли, а также представители ряда зарубежных фирм.

**ОАО «СЕВЕРНАЯ ВЕРФЬ»**

22 июля 1999 г. состоялось вручение ОАО «Судостроительный завод «Северная верфь»» сертификата одобрения (Bureau Veritas Quality International — BVQI) и сертификата соответствия («Союзсерт»), удостоверяющих соответствие заводской системы качества международным стандартам ISO 9002.

Как известно, качество является одним из важнейших факторов, определяющим конкурентоспособность продукции. А механизмом, позволяющим создать у потребителя уверенность в способности предприятия стабильно выпускать продукцию в соответствии с современными требованиями, является функционирование на предприятии системы качества, отвечающей международным стандартам ISO 9000.

В начале 1998 г. специалисты «Северной верфи», приступая к исполнению контракта на постройку двух эсминцев для ВМС Китая и, являясь соискателем лицензии на про-



На официальной церемонии закладки на стапеле ОАО «Балтийский завод» второго фрегата для ВМС Индии

изводство, ремонт и модернизацию боевых надводных кораблей, занялись и решением задач сертификации. Перед созданной на базе отдела стандартизации службой по управлению качеством стояла, в частности, задача проверки соответствия деятельности заводских подразделений требованиям, установленным стандартами. Персонал этой службы прошел специальную подготовку в области качества на курсах, организованных Ассоциацией «Петросерт». Затем обучение по программам «Управление качеством» и «Международные стандарты ISO серии 9000 и внутренний аудит систем качества» прошли заводские специалисты.

В январе—феврале 1999 г. состоялась соответствующая аттестация — сначала руководителей, а затем персонала подразделений. В процессе создания системы качества были переработаны, а в большинстве случаев фактически разработана заново документация по системе качества, стандарты предприятия, должностные и рабочие инструкции. Периодически проводились проверки (внутренний аудит) соответствия деятельности подразделений установленным требованиям.

22—25 февраля 1999 г. сертифицирующими органами «Бюро Веритас Русь» (BVQI) и «Союзсерт» системы «Оборонсертифика» на заводе был проведен предварительный аудит, а 26—28 апреля — сертификационный аудит системы качества. После проверки эффективности корректирующих действий сертифицирующими органами были приняты решения о выдаче «Северной верфи» необходимых сертификатов.

#### ОАО «БАЛТИЙСКИЙ ЗАВОД»

24 сентября 1999 г., в дни работы в Санкт-Петербурге международной выставки по судостроению и судоходству «Нева-99», на «Балтийском заводе» состоялась официальная закладка второго фрегата для ВМС Индии. Это важная часть крупного контракта между ведущим российским экспортером вооруже-



Спуск на воду морского природоохранного судна «Россия», построенного ОАО «Морской завод «Алмаз»»

ния государственной компанией «Росвооружение» и министерством обороны Индии, заключенного в 1997 г. Всего предусмотрены строительство и поставка трех кораблей.

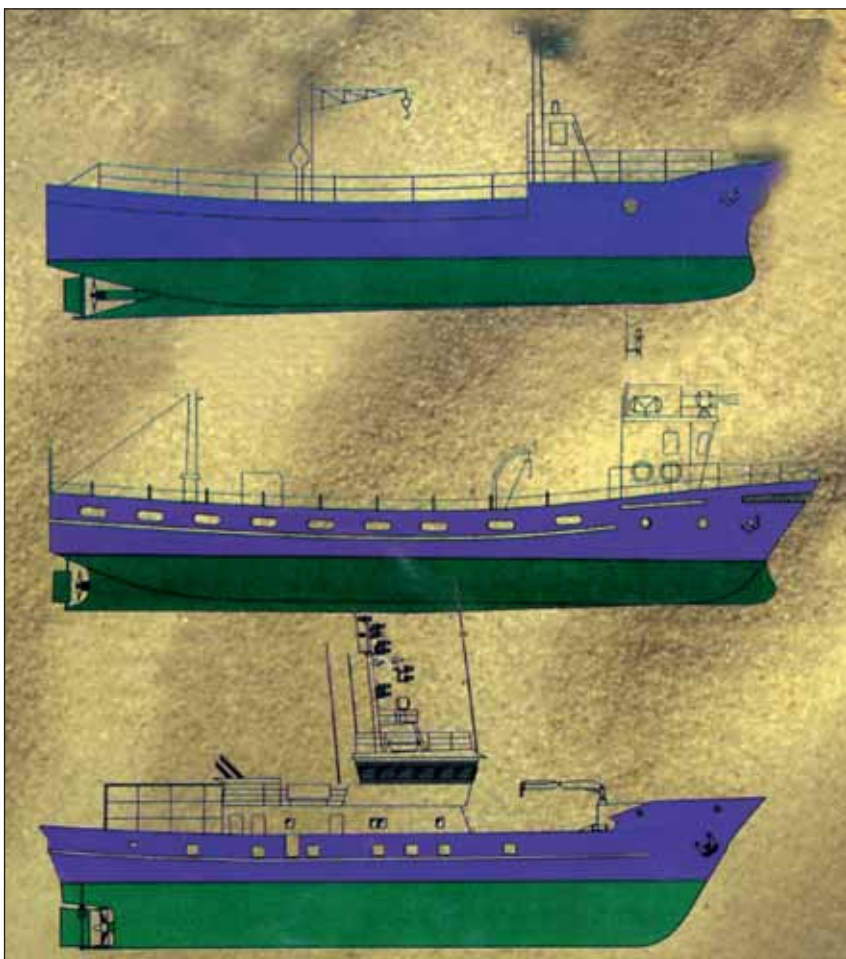
Фрегат, в создании которого принимают участие более 130 предприятий России, ближнего и дальнего зарубежья, является без преувеличения кораблем XXI века. По мнению генерального проектанта — Северного ПКБ — его научно-техническая база является основой будущих кораблей, в том числе и для российского флота.

Всего полгода прошло с момента торжественной закладки головного фрегата, а его корпус имеет почти законченный вид — не хватает лишь носовой и кормовой оконечностей. ОАО «Балтийский завод» с самого начала работ по выполнению заказа задало очень высокий

темп. Благодаря использованию самых передовых технологий в проектировании и производстве работы идут с опережением графика на 3 мес.

Основная нагрузка в выполнении заказа пришлась на корпусные цехи, мощности которых оказались полностью загруженными. Собрано более 700 т стальных конструкций головного фрегата, из них большая часть — около 600 т — сформирована в корпус на стапеле; закончена предварительная механическая обработка поковок валопровода и его деталей. Параллельно с завершением строительства корпуса головного фрегата начинается его насыщение оборудованием и механизмами.

Обладая развитым многопрофильным производством, балтийцы решили укомплектовать строящиеся



Малые рыбопромысловые суда, строящиеся ОАО «Гайдамакский СРЗ»

корабли изделиями собственного машиностроения в значительно большем объеме, чем это делает обычная судостроительная верфь. Помимо загрузки машиностроительных цехов, такая политика обеспечивает создание дополнительных рабочих мест и позволяет трудоустроить многих петербуржцев. Сейчас идет набор специалистов основных судостроительных специальностей — судосборщиков, сварщиков-аргонщиков, трубопроводчиков.

К моменту закладки второго фрегата сборочно-сварочным цехом собрано 450 т стальных конструкций, что составляет более 1/3 общей массы стального корпуса, а на стапеле сформировано в корпус более 200 т секций.

Не остается без внимания и третий корабль. Уже обеспечена поставка большей части металла для его корпуса и начата резка деталей. В отличие от первых двух кораблей серии третий фрегат будет заложен в крытом эллинге, где до

него уже строились танкеры-химовозы для немецкого заказчика.

#### ОАО «МОРСКОЙ ЗАВОД “АЛМАЗ”»

«Россия» — название первого морского природоохранного судна-катамарана, спущенного на воду 30 июня 1999 г. судостроителями ОАО «Морской завод “Алмаз”» и предназначенного для комплексного экологического мониторинга акватории Балтийского, а в перспективе и Северного моря с помощью уникального измерительного комплекса «Акватория». Судно — типа «ЭкоПротектор» (пр. 23107Э) — построено по заказу Федерального экологического фонда для Государственного комитета РФ по охране окружающей среды. Оно является развитием природоохранных судов типа «ЭкоПатруль» (пр. 16220Э), предназначенных для речных и прибрежных операций («ЭкоПатруль 1»

эксплуатируется в Финском заливе, на Неве и Ладоге; «ЭкоПатруль 2» — в бассейнах Волги и Каспия; «ЭкоПатруль 3» строится для реки Москвы).

Основные элементы и характеристики судна пр. 23107Э: габаритная длина 32,5 м, по КВЛ — 28,8 м; габаритная ширина 8,7 м, одного корпуса — 2,4 м; высота борта 3,3 м; осадка 1,7 м; водоизмещение 105 т; мощность ЭУ 2 x 990 кВт; скорость — до 25 уз, дальность плавания до 1000 миль, автономность 5 сут. Энергетическая установка состоит из двух дизель-редукторных агрегатов ДРА-470 производства ОАО «Звезда», работающих на два ВФШ. Корпус изготовлен из алюминиево-магниевого сплава.

В состав комплекса «Акватория», созданного Ассоциацией предприятий морского приборостроения, входят: буксируемая система контроля параметров водной среды, система контроля приповерхностного слоя воды, система ультразвукового зондирования, телеуправляемый подводный аппарат, устройство отбора проб воды, система отбора проб донного грунта, система контроля уровня удельной радиоактивности, аппаратура дистанционного лоцирования водной поверхности, авиационно-технический комплекс с дистанционно управляемым небольшим летательным аппаратом, гидрохимическая лаборатория, вычислительный центр.

Проект судна разработан специалистами ОАО «Морской завод “Алмаз”» и ОАО «Инженерный центр судостроения» (разработчик проекта судов типа «ЭкоПатруль»).

#### ЗАО «РОСШЕЛЬФ»

Являясь заказчиком МЛСП «Приразломная», строящейся ПО «Севмаш», ЗАО «Росшельф» планирует осуществить установку платформы на нефтяном месторождении Приразломное (глубина 19,5 м) в Печорском море в 2003 г. Капитальные вложения для создания добывающего комплекса на этом месторождении характеризуются следующими цифрами: проектирование и управление проектом — 10%, модификация и

гидротехнические работы на «Севмаше» — 2%, сертификация и страхование — 4%, затраты на инфраструктуру — 5%, затраты на бурение — 22%, строительство МЛСП — 57% (в том числе, верхнее строение — 34%, кессон — 15%, балластировка, транспортировка, установка МЛСП и непредвиденные расходы — 8%).

В 2003 г. планируется пробурить и первые скважины, начав добычу нефти. Анализ, выполненный в рамках ТЭО обустройства месторождения, показал, что транспортировку нефти с месторождения до Роттердама целесообразно производить напрямую танкерами дедвейтом 60—90 тыс. т либо с промежуточной перевалкой в порту Печенга.

Во втором варианте на трассе Приразломное—Печенга (600 миль) могут использоваться челночные танкеры ледового (УЛ) плавания дедвейтом 60 тыс. т (проектные размеры 228 x 32,2 x 18,2 м, осадка в грузу 14 м, мощность ГД 20 МВт, скорость на чистой воде 15 уз), а далее — танкеры дедвейтом 90 тыс. т. Для регулярной круглогодичной эксплуатации такой системы необходимы два танкера дедвейтом по 60 тыс. т и два — по 90 тыс. т, плавучее нефтехранилище в порту Печенга дедвейтом 150 тыс. т, а также два многофункциональных ледокола-снабженца для обеспечения безопасности платформы, ледокольной проводки танкеров и швартовки к платформе в ледовых условиях.

Для прямой транспортировки нефти в Роттердам финской фирмой Kvaerner Masa—Yards предлагается использовать танкер типа DAT дедвейтом около 90 тыс. т (проектные размеры 264/231 x 40 x 20,6 м, осадка 14,6 м, мощность двигательного комплекса «Азипод» 16 МВт, скорость 15 уз, категория ледовых усилений — УЛ).

#### ОАО «ГАЙДАМАКСКИЙ СРЗ»

Гайдамакский судоремонтный завод, расположенный в пос. Ливадия, недалеко от Находки, уже несколько лет занимается постройкой малых рыбопромысловых судов. После того, как контрольный пакет акций СРЗ приобрела Дальневосточ-

ная рыбопромышленная компания «Посейдон», было принято решение сделать серьезную ставку на маломерное промысловое судостроение. Четыре года назад заложили первое судно «Гайдамак» для прибрежного рыболовства. Проект разработало заводское КБ. На постройку потребовалось всего четыре месяца. С тех пор сдано 14 судов, в портфеле заказов — еще 22.

Сейчас завод строит суда следующих типов:

дальневосточный рыболовный бот (ДРБ) для добычи рыбы и морепродуктов ловушками, донным ярусом, снюрреводом (длина 15,1 м, грузоподъемностью 14 т, мощность ГД 68 л. с., скорость 9,1 уз, экипаж 4 чел.);

ДРБ для добычи морепродуктов ловушками и их транспортировки в живом или замороженном виде (20,9 м, 300 л. с., 11 уз, 6 чел.);

малый ярусник для лова рыбы донным ярусом, ловушками, тралом, снюрреводом (16 м, 150 л. с., 9,1 уз, 4 чел.);

сетевик (ловушечник) — морозильщик типа «Посейдон» для добычи краба, палтуса, трески, окуня (33 м, 600 л. с., 11 уз, 6 чел.);

краболов/сайровик — морозильщик для добычи краба ловушками и сайры на электросвет (44,9 м, 816 л. с., 11 уз, 16 чел.).

Для обеспечения заказа судов создано дочернее предприятие ООО «Посейдон—лизинг», предла-

гающее гибкие лизинговые услуги: авансовый платеж 30—60% стоимости судна, срок лизинга от одного года до 6 лет.

#### ЦЕНТР ИНФОРМАЦИОННО-РЕСУРСНОЙ ПОДДЕРЖКИ САПР

На международной выставке «Нева-99» в Санкт-Петербурге на стенде ЦНИИТС 23 сентября 1999 г. были подписаны документы о создании Центра информационно-ресурсной поддержки систем автоматизированного проектирования проектных организаций судостроительной отрасли Санкт-Петербурга. Среди участников соглашения — Комитет по экономике, промышленной политике и инвестициям администрации Санкт-Петербурга, Институт высокопроизводительных вычислений и баз данных (ИВВБД) Миннауки РФ, ЦНИИ технологии судостроения, немецкая фирма Software AG, Санкт-Петербургский Фонд поддержки промышленных предприятий. ИВВБД оснащен самым мощным в России парком суперкомпьютеров и является лидером в использовании высокопроизводительных ЭВМ. Фирма Software AG, являясь одним из крупнейших европейских производителей программных продуктов, намерена инвестировать в проект программное обеспечение на сумму в 1,5 млн немецких марок.



Подписание на международной выставке «Нева-99» на стенде ЦНИИТС документов, связанных с созданием Центра информационно-ресурсной поддержки САПР в Санкт-Петербурге





Экраноплан «Спасатель» в цехе ОАО «Судостроительный завод «Волга»»

Основной целью проекта является создание инфраструктуры и методики централизованного предоставления высокопроизводительных вычислительных ресурсов пользователям САПР для анализа вариантов проектно-конструкторских решений, требующих большого объема вычислений. Центр с современным программно-аппаратным и телекоммуникационным комплексом обеспечит доступ пользователей к суперкомпьютерным системам и лицензионным программам. В результате отечественные предприятия в течение одного—двух лет смогут выйти на мировой уровень по скорости и затратам на разработку высококачественных изделий. Центр будет решать и ряд других задач.

**ОАО «ЯРОСЛАВСКИЙ  
СУДОСТРОИТЕЛЬНЫЙ  
ЗАВОД»**

В сентябре 1939 г., 60 лет назад, Ярославская моторно-судостроительная верфь, основанная в 1920 г., была переименована в Ярославский судостроительный завод. Предпосылкой для этого стала большая работа по реорганизации и модернизации полукустарного производства в крупный завод, начавшаяся в 1933 г. В строительство было

вложено до 7 млн руб., мощность предприятия возросла с 140—160 до 2000 катеров в год. К середине 30-х годов судостроители уже освоили 45 типов катеров, включая быстроходные почтовые и пожарные, грузовой глассер с максимальной скоростью 53 км/ч, верповальные катера для геологов, пассажирские типа «Пчелка». За пять лет (к 1937 г.) выпуск продукции увеличился в 3,5 раза. В последующие годы строились речные суда-трамвайчики для пригородных линий Ярославля, многоцелевые катера типа «В» и «Д» (спроектированы заводскими конструкторами), а также водолазные боты, гидрографические суда, бензозаправщики. Вся эта продукция имела немаловажное значение для страны в те годы. В настоящее время завод способен строить морские и речные суда различных типов водоизмещением до 1600 т. В 2000 г. ярославские судостроители отметят 80-летие своего предприятия.

**ОАО «ЦКБ по СПК  
им. Р. Е. АЛЕКСЕЕВА»**

В ходе посещения ЦКБ представительной делегацией специалистов из Китая в августе этого года, был подписан протокол о сотрудничестве в области создания экрано-

планов различного класса. Гостям из КНР продемонстрировали экранопланы в полете, на судостроительном заводе «Волга» они осмотрели строящийся экраноплан «Спасатель». Китайские партнеры пригласили специалистов ЦКБ продемонстрировать российские экранопланы в КНР на международной выставке в г. Дзюхуае в 2000 г.

**ОАО «ЗАВОД «КРАСНОЕ  
СОРМОВО»»**

Необычный памятник строителям русских подводных лодок — боевая рубка дизель-электрической подводной лодки — установлен на территории завода 21 июля 1999 г., в день 150-летнего юбилея «Красного Сормова».

Приемный акт сдачи первой сормовской подводной лодки ВМФ страны был подписан 15 августа 1934 г. Это была лодка «Комсомолец» (Щ-304), построенная на деньги, собранные молодежью СССР. Закладка ее состоялась 23 февраля 1930 г., корпус сформировали за 10 мес. Но затем из-за различных причин процесс постройки затянулся. Вместо запланированной сдачи в 1932 г. лодку отправили в Ленинград только летом 1933 г. Предъявляя государственной комиссии, испытывал и сдавал ее Балтийский завод. Два завода заключили договор и подписали протокол на передачу, в котором особо оговаривалось условие: балтийцы обязуются обучить сормовичей монтажу механизмов и устройств, допустить их к цеховым (швартовным), а также сдаточным испытаниям.

Полученный опыт вскоре был востребован. Вторую лодку «Семга» (Щ-308) сормовичи самостоятельно испытали и сдали 14 ноября 1935 г. В дальнейшем на заводе осуществлялась крупносерийная постройка подводных лодок. Только в 1955 г. сормовичи сдали ВМФ 37 лодок пр. 613.

**А. Н. Хаустов**

## НОВЫЙ ПОДХОД К ПРОЕКТИРОВАНИЮ БУКСИРОВ-ТОЛКАЧЕЙ

Б. Билен, М. Жерьял, Б. Билен-Катиц, З. Лайич, М. Маринкович,  
З. Янкович (Институт технических наук Сербской академии  
наук и искусств)<sup>1</sup>

УДК 629.561.1/2

Цель данного проекта, выполненного в Институте технических наук, — уменьшение или, по возможности, устранение имеющихся недостатков современных буксиров-толкачей, эксплуатирующихся на Дунае [1—4].

**Дунайские буксиры-толкачи.** По результатам исследования эффективности эксплуатации дунайских буксиров-толкачей традиционной конструкции установлено: большинство буксиров работают с относительно низким пропульсивным КПД в диапазоне от 0,32 до 0,38 [5—9]; при плавании возникает значительная линейная (продольная) вибрация корпуса; маневрирование сопровождается заметным снижением скорости; часто мощность буксиров не соответствует выполняемым работам, особенно при портовых работах, формировании буксирных составов, буксировке пустых барж и т. п.; эксплуатация буксиров-толкачей связана с большими эксплуатационными расходами ввиду частого повреждения их громоздких движительно-рулевых комплексов; буксиры-толкачи, особенно построенные в Югославии, имеют большую длину.

**Пропульсивный КПД.** Чтобы определить, почему у буксиров-толкачей низкий пропульсивный КПД ( $\eta_p = \eta_m \cdot \eta_o \cdot \eta_H \cdot \eta_R$ ), необходимо исследовать влияющие на него факторы: коэффициенты передачи  $\eta_m$ , эффективности гребного винта на открытой воде  $\eta_o$ , влияния корпуса  $\eta_H$  и неравномерности потока  $\eta_R$ . Улучшение любого из них может повысить пропульсивный КПД.

Повышение КПД передачи  $\eta_m$  связано с уменьшением механических потерь путем упрощения передачи (т. е. проектирования гребного вала с меньшим числом подшипников, исключения кронштейнов и переходов через водонепроницаемые переборки, уменьшения длины вала и т. п.).

Как известно, КПД гребного винта в направляющей насадке на открытой воде  $\eta_o$  зависит от поглощенной энергии, скорости, частоты вращения и его диаметра. Уменьшение нагрузки на винт ведет к понижению КПД на открытой воде. Численные значения этой зависимости, полученные по результатам испытаний гребных винтов в насадке на открытой воде, приведены в табл. 1.

Расчет произведен для оптимального диаметра винта (но не более 1,85 м), применяемого на большинстве дунайских буксиров, при скорости движения буксира 15,5 км/ч и частоте вращения гребного винта, обеспечивающей максимальный упор.

Как видно из табл. 1, увеличение поглощенной мощности неизбежно ведет к снижению КПД. Это означает, что уменьшение поглощенной мощности с обычной величины 800 кВт, например, до 500—600 кВт, повысит КПД примерно на 10%, чем не следует пренебрегать. Это понижение может также способствовать уменьшению линейной вибрации корпуса.

Общепринятое определение пропульсивного КПД основывается на том факте, что условия работы гребного винта у большинства судов незначительно отличаются от условий работы гребного винта на открытой воде, так как значение произведения коэффициента неравномерности потока и коэффициента влияния корпуса близко к единице и, как правило, находится в диапазоне  $\eta_R \eta_H = 0,98 \dots 1,02$ . В этих условиях КПД гребного винта на открытой воде имеет преобладающее влияние на общий пропульсивный КПД. Традиционный движительный комплекс буксира работает в других условиях и имеет очень низкое значение произведения  $\eta_R \eta_H$  ввиду разнородности кильватерного потока и турбулентности воды позади буксира, перепада давления в корме судна и кильватерной струе. Это объясняется необычной формой кормовой части буксира-толкача и наличием большого числа выступающих частей, включая шесть вспомогательных рулей заднего хода, четыре—шесть основных рулей, два—три подшипника в кронштейнах гребного вала, деформированностью насадки и наличием больших тоннелей, в которых расположены гребные винты и обтекатели (рис. 1).

Анализ результатов ходовых испытаний [5—9] различных буксиров-толкачей наглядно показал относительно низкие значения  $\eta_R$  и  $\eta_H$ . Было установлено, что произведение  $\eta_R \eta_H$  находится в пределах от 0,68 до 0,80, что на 25—30% меньше по сравнению с обводами обычного судна, имеющего меньшее число выступающих частей. По-

<sup>1</sup>B. Bilen, V. Žerjal, B. Bilen-Katić, Z. Lajić, M. Marinković, Z. Janković — Institute of Technical Sciences of the Serbian Academy of Sciences and Arts (Belgrade, Yugoslavia)

Таблица 1

Зависимость КПД гребного винта в насадке на открытой воде от нагрузки

P, кВт	D <sub>опт</sub> , м	N, мин <sup>-1</sup>	η <sub>о</sub>	T, кН	P/D
100	1,38	222	0,58	16,1	1,261
200	1,84	173	0,58	32	1,254
300	1,85	196	0,56	46,4	1,231
400	1,85	215	0,54	59,5	1,216
500	1,85	232	0,52	71,7	1,204
600	1,85	247	0,51	83,3	1,196
700	1,85	260	0,49	94,4	1,190
800	1,85	271	0,48	105	1,185
900	1,85	282	0,47	115,3	1,181
1000	1,85	292	0,46	125,3	1,178

этому наиболее эффективный способ повышения пропульсивного КПД заключается в создании буксира новой конструкции, где перечисленные выступающие части отсутствуют или хотя бы сведены до минимума.

**Маневренность.** Изменение курса на прямолинейном участке маршрута и плавание по крутым и плавным кривым представляют собой обычные маневры судна на внутренних водных путях (в данной статье не рассматриваются движение задним ходом, боковое маневрирование, вход в порт, внезапная остановка и т. п.). Эти стандартные маневры выполняются при большей или меньшей перекладке руля. Любая перекладка руля создает результирующую силу, состоящую из полезной (положительной) поперечной силы Y<sub>R</sub> и отрицательной продольной силы X<sub>r</sub>, которая является одной из причин уменьшения скорости буксира (эффект торможения рулем). Во время плавания переложенные рули, создающие эти силы, одновременно вызывают уменьше-

ние всасывающей скорости гребного винта (дросселирующий эффект). Эти два явления совместно с появлением угла дрейфа буксирных составов и соответствующих гидродинамических сил инерции и центробежных вызывают уменьшение скорости движения буксирного состава.

Для определения сил, создаваемых главными рулями, а также изменения скоростей всасывания гребного винта были проведены обширные модельные испытания буксира мощностью 2 x 750 кВт с традиционным движительно-рулевым устройством (см. рис. 1).

Модельные испытания проводились в кавитационной трубе [10]. Значения крутящего момента, упора, винта, частоты вращения, сил и моментов главного руля измерялись при различных значениях относительной поступи гребного винта J и разных углах перекладки главного руля. Во время испытаний вспомогательные боковые рули были закреплены в нейтральном положении, и буксир удерживался на прямолинейном курсе (угол сноса β = 0).

Рабочие режимы гребного винта диаметром 1,6 м определялись в кавитационной трубе при нахождении главных рулей в нейтральном положении (перекладка руля δ = 0). При этом коэффициент упора гребного винта составлял K<sub>T</sub> = 0,225, насадки K<sub>Tn</sub> = 0,0376 при числе кавитации σ = 2,059.

В каждой серии испытаний частота вращения винта n и скорость протекания воды в туннеле v поддерживались постоянными (согласно закону подобия Фруда, модель гребного винта с n<sub>м</sub> = 19 об/с соответствовала гребному винту натурного

буксира с n<sub>с</sub> = 6,333 об/с; скорость модели v<sub>м</sub> = 1,54 м/с соответствовала скорости буксира v<sub>с</sub> = 4,62 м/с).

Результаты модельного испытания показывают, что главные рули способствуют отклонению и глушению струи гребного винта, вызывая тем самым, уменьшение скорости всасывания гребного винта v<sub>в</sub>. Это, в свою очередь, ведет к уменьшению относительной поступи гребного винта J и увеличению коэффициента упора, а также момента вращения пропорционально углу перекладки руля.

На рис. 2 представлены измеренные общие составляющие поперечной Y<sub>r</sub> и продольной силы X<sub>r</sub>, прогнозируемые для буксиров мощностью 2 x 400 кВт, толкающих буксирный состав (S 1+1), состоящий из барж Ellв с осадкой 2,5 м, в зависимости от угла перекладки руля δ. «Исходные» силы руля — это силы, возникающие при углах нулевого сноса. На рис. 2 видно, что сила торможения X<sub>r</sub> является относительно большой. Она, вместе с возросшим сопротивлением вследствие угловой скорости, несомненно вызовет значительное понижение скорости буксира при его криволинейном перемещении.

**Плавание при недостаточно отрегулированной мощности привода.** В повседневной практике часто случается, что буксиры сравнительно большой мощности толкают небольшие буксирные составы и наоборот. Это происходит при портовом обслуживании, транспортировке одиночной баржи под погрузку, разгрузку или для формирования буксирного состава, при буксирном составе, сформированном из пустых барж, или при плавании по водным путям, где разрешается проводка только небольших буксирных составов.

В большинстве перечисленных случаев мощность буксира используется ненадлежащим образом. Назовем это явление «плавание с недостаточно отрегулированной мощностью привода». Отсюда, достаточно отрегулированная мощность — это мощность, при которой буксир может получить максимальную прибыль при данном буксирном составе.

Для пояснения этого положения вычислим прибыль, которую данный буксир может получить при транспортировке разных буксирных соста-

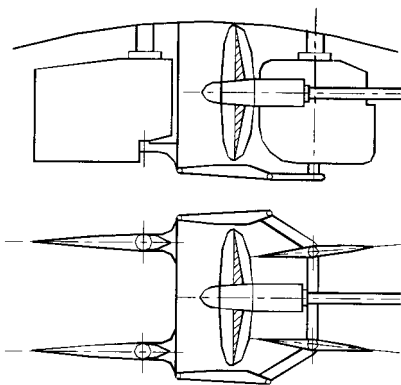


Рис. 1. Схема расположения движительно-рулевого комплекса на традиционных буксирах-толкачах

вов при прямолинейном плавании. В расчетах примем: «прибыль 1», которая включает стоимость перевозки грузов за вычетом эксплуатационных расходов (стоимость топлива, смазочных масел, портовые сборы, пограничные сборы и т. п.); «прибыль 2» — это «прибыль 1» за вычетом амортизации (4% в год), выплат по кредиту на 6 лет с 8% годовых, страховых взносов (2%), транспортных налогов (1%) и т. п. Разумеется, «прибыль 2» можно рассматривать как валовую прибыль компании, хотя в нее должны входить зарплата команды и администрации, расходы по транспортировке пустых барж и различные обязательные фонды компании. В табл. 2 приведены расчетные данные по транспортировке грузовых барж по течению с глубиной воды 5 м. Было сделано предположение, что продолжительность транспортировки состава из барж E11в с осадкой 2,5 м составляла 3200 ч в год, при этом 70% — против течения и 30% — по течению. Средняя расчетная скорость течения принята 3 км/ч.

Расчеты произведены по методу, описанному в работе [2], при этом стоимость фрахта составляла 0,012 дол./т·км, а цена топлива — 300 дол./т. Рассматривались три типа буксиров-толкачей (800, 1600 и 2400 кВт) и три типа буксирных составов (S 1 + 1), (S 2 + 2) и (S 2 + 2 + 2). Закупочные цены буксиров и барж приняты по данным югославских судостроительных заводов. Скорость буксирных составов определена по результатам модельных испытаний.

Из табл. 2 видно, что «прибыль 1» зависит от размера буксирного состава и установленной мощности буксира. Для данного буксирного состава существует только единственная мощность буксира, способная обеспечить наибольшую величину «прибыль 2». По поводу такой мощности можно сказать, что она достаточно хорошо отрегулирована.

В данном исследовании диапазон мощности буксира имеет свои естественные верхний и нижний пределы. Верхний — это наибольшая мощность, при которой конкретный гребной винт все еще способен рационально использовать установленную мощность, а нижний предел — это минимальная мощность, при которой данный буксирный со-

Таблица 2

**Определение прибыли при транспортировке буксирных составов буксирами установленной мощности**

Схема буксирного состава	Мощность буксира, кВт	Закупочная цена (буксир + баржи), тыс. дол.	Грузоподъемность, т	Скорость по течению, км/ч	Прибыль 1, дол./ч	Прибыль 2, дол./ч
S 1 + 1	800	2720	3400	12,3	449	177
S 1 + 1	1600	4240	3400	14,8	499	75
S 2 + 2	800	3920	6800	9,8	748	356
S 2 + 2	1600	5440	6800	11,8	858	314
S 2 + 2	2400	6960	6800	12,8	887	191
S 2 + 2 + 2	800	5120	10 200	8,3	964	452
S 2 + 2 + 2	1600	6640	10 200	10,1	1130	466

став еще может осуществлять безопасное движение. Зависимость «прибыль 2» от размера состава и мощности буксира очень заметна, когда буксир средней или большой мощности осуществляет транспортировку малого состава. Например, буксир мощностью 1600 кВт при перевозке состава (S 1 + 1) дает «прибыль 2» в размере 75 дол./ч, а буксир мощностью 800 кВт — 177 дол./ч. Имея в виду, что небольшие буксирные составы (S 1 + 1) обязательны на водных путях класса Vb на маршруте Рейн—Майн—Дунай и буксир мощностью 800 кВт обеспечивает высокую «прибыль 2» при транспортировке более крупных составов, можно сделать вывод, что эта мощность достаточно хорошо отрегулирована для плавания по всему трансевропейскому водному пути Рейн—Майн—Дунай. Проблемы запрещенных скоростей плавания (рекомендуемая в Европейском Союзе скорость составляет 12 км/ч относительно воды [4]), с которыми данный буксир сталкивается при транспортировке более крупных буксирных составов, можно решить пу-

тем применения на некоторых критических участках «комплексных составов», в которых используется два или три буксира, способных развивать более высокие скорости.

**Ремонтные и эксплуатационные расходы.** По данным наших судовладельцев, большинство крупных ремонтов и затрат на обслуживание приходится на рули, гребные винты, насадки, дейдвудные подшипники и т. д. из-за ударов о речное дно и затопленные бревна, истирающего действия ила и песка.

Для уменьшения подверженности винторулевого комплекса повреждениям предпринимались различные меры, включая усовершенствование системы уплотнения дейдвудного устройства и замену резиновых подшипников на подшипники с баббитовыми вкладышами и масляной смазкой; подкрепление насадки антикавитирующим кольцом из нержавеющей стали; усовершенствование пера руля и соединительной муфты баллера руля, а также конструкций подшипников баллера руля и их уплотнений; создание механических средств защиты от топляка и т. п. К сожалению, все

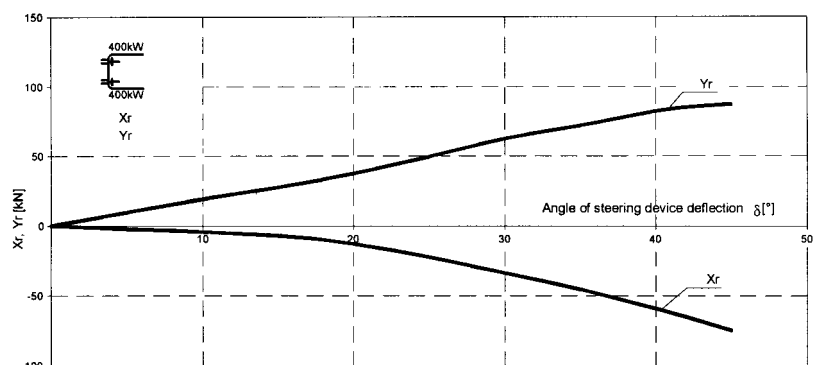


Рис. 2. «Исходные» силы, создаваемые рулями традиционных буксиров

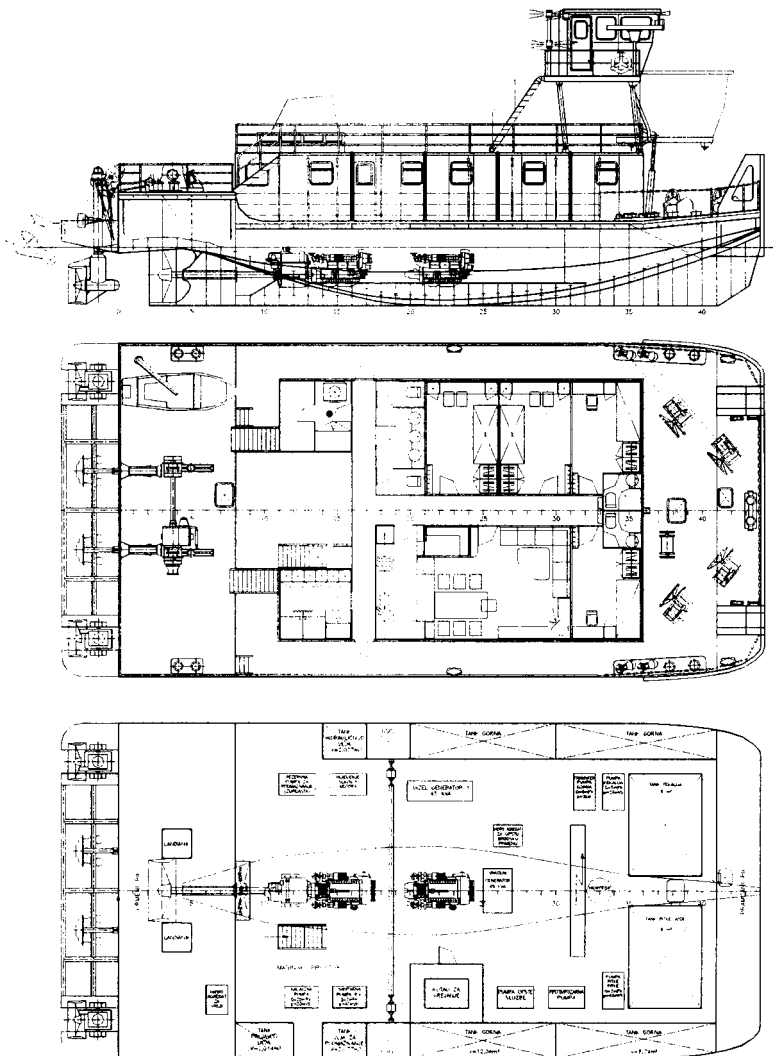


Рис. 3. Схема общего расположения комбинированного буксира-толкача

эти меры не дали заметных улучшений.

**Наибольшая длина буксира.** Большинство дунайских буксиров-толкачей имеют длину 32–40 м, в то время как аналогичные по мощности буксиры, построенные в других странах Западной Европы, имеют длину от 18 до 26 м. Большая длина, естественно, ведет к большей массе корпуса и увеличению цены судна. Причины этого следующие: относительно небольшая требуемая осадка — 1,5 до 1,7 м; относительно небольшая ширина буксира — значительно меньше ширины стандартных барж E11в; большая численность команды требует значительных площадей для размещения жилых помещений; большие объемы необходимы для размещения запасов топлива; использование среднеоборотных дизельных двигателей (600–700 об/мин) с большими габаритами и массой.

**КОНСТРУКЦИЯ КОМБИНИРОВАННОГО БУКСИРА-ТОЛКАЧА (960–1200 кВт)**

Комбинированный буксир-толкач отличается, главным образом, новым типом движительно-рулевого комплекса, представляющего собой трехвинтовую систему. Средний винт забирает около 70% установленной мощности и служит для создания только упора. Боковые движители — полноповоротные подруливающие устройства — поглощают около 30% мощности и используются для маневрирования и создания части общего упора. Таким образом, два подруливающих устройства выполняют функции традиционных рулей буксира. Следует отметить, что точное распределение установленной мощности между средним и боковыми движителями представляет собой предмет разработанной расчетной методики, которая с учетом существующих или заданных ограничений определяет оп-

тимальные значения пропульсивного КПД и маневренности.

Рассматриваемый буксир имеет следующие отличия от традиционных.

**Главные размеры:** длина по ватерлинии уменьшенная — 19,5 м; теоретическая ширина 11,33 м соответствует ширине баржи E11в; осадка увеличена до 1,85 м, а высота надводного борта оставлена без изменений.

**Обводы корпуса** аналогичны одновинтовым судам. Теоретические шпангоуты, включая скуловой пояс, образованы из прямых линий. По осевой линии форштевня расположен трапециевидальный skeg; аналогичная конструкция в корме, на выходе дейдвудной трубы. Обычные коридоры гребного вала отсутствуют. По осевой линии корпус заканчивается небольшой насадкой.

**Конструкция стального корпуса.** Корпус судна имеет поперечную систему набора, за исключением носовой части, где применена продольная система. Размеры стальных листов и профильного набора несколько превышают требования классификационных обществ. Особенность конструкции фундаментов главных двигателей, расположенных по осевой линии вдоль машинного отделения, — наличие дополнительного усиления с помощью прочного трапециевидального skeg. Корпус имеет только две водонепроницаемые переборки — форпиковую и ахтерпиковую. Расчет напряжений и деформаций выполнялся с использованием программы «Maestro».

**Помещения команды.** Команда сокращена до 6 чел. Комфортабельные жилые помещения, отвечающие современным требованиям, расположены в палубной надстройке, которая выполнена по модульной системе. Каждый модуль установлен на упругом основании.

**Главные двигатели и передача мощности.** В отличие от обычной практики, два одинаковых главных двигателя (около 600 кВт при 1800 об/мин) установлены по линейной схеме — друг за другом. Задний двигатель соединяется непосредственно с гребным валом через реверсивный редуктор (передаточное число около 1 : 7). Гребной вал поддерживается двумя дейдвудными подшипниками скольжения с масляной смазкой.

Передний дизель со стороны маховика служит приводом для двух оди-

наковых осевых поршневых гидравлических насосов переменной подачи (Rexroth A4VSG 500), которые являются приводом для двух подруливающих устройств (Hydromarine Rexroth UM-NMA 0500) с гребными винтами в насадке диаметром 1,4 м. Каждое подруливающее устройство потребляет 150 кВт, а оставшая мощность (около 300 кВт) — резервная; она может использоваться для увеличения скорости поступательного движения или для выполнения резких маневров. При нормальной работе давление в гидросистеме около 140 бар, а в аварийном режиме — 280 бар. При выходе из строя переднего двигателя проектом предусмотрен резервный насос. В кормовой части заднего двигателя установлен валогенератор переменного тока на 60—80 кВт.

Предусмотрен и альтернативный вариант — с приводом от двух независимых дизелей. Но предпочтительнее отдается гидравлическим устройствам, несмотря на низкий КПД передачи (соответственно, 0,75 и 0,80), так как гидравлическая (непрямая) передача дает следующие преимущества: возможность регулировать частоту вращения гребного винта в обоих направлениях; дизель работает при постоянной частоте вращения; возможность использования всей мощности двигателя или ее резервирования в любом диапазоне скоростей, а также подключения большего числа потребителей к одному дизелю; возможность установки валогенератора; более низкие закупочная цена и эксплуатационные расходы. По нашему мнению, эти преимущества гидравлической передачи вполне компенсируют ее низкий КПД.

**Электрооборудование.** Основное отличие от обычных буксиров заключается в конструкции электроэнергетической установки — валогенератора трехфазного переменного тока мощностью 60—80 кВт, смонтированного на кормовой части заднего дизеля. Производимой генератором энергии должно быть достаточно для питания всех электропотребителей, включая два электробрашпиля на баржах. Дизель-генератор трехфазного переменного тока используется в качестве вспомогательного источника энергии мощностью около 40 кВт.

Таким образом, благодаря внедрению описанных усовершенствований разработан проект буксира-

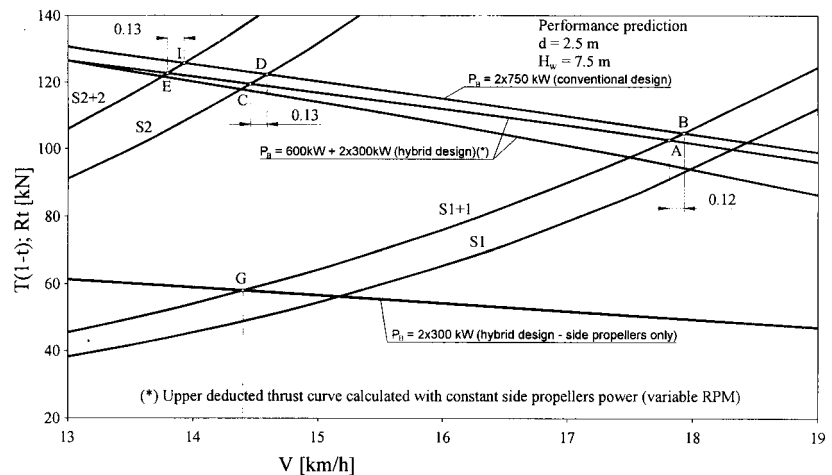


Рис. 4. Прогнозируемые эксплуатационные характеристики комбинированного буксира-толкача в сравнении с традиционным буксиром-толкачом

толкача, в котором традиционные недостатки удалось устранить или свести к минимуму (рис. 3).

**Пропульсивный КПД.** Увеличение КПД достигнуто за счет новой формы судовых обводов, обеспечивающей свободное и ровное протекание воды к гребным винтам; устранения главного и вспомогательных рулей, кронштейнов гребного вала и их подшипников; установки среднего и боковых гребных винтов в кольцевых насадках; уменьшения установленной мощности буксира в упомянутых естественных, верхнем и нижнем, пределах и распределение ее между тремя гребными винтами; упрощена осевая линия передачи.

Результаты сравнения пропульсивных характеристик комбинированного и обычного буксиров представлены на рис. 4. Графики построены по исходным данным табл. 3.

При проведении расчетов данные о характеристиках гребных винтов в насадках на открытой воде были взяты из серии Ka и из работ [10—12], а данные о гидродинамическом сопротивлении для различных буксирных составов подсчитаны по методике [13]. Характеристики оптимального гребного винта рассчитаны для условий штиля на прямом отрезке пути при номинальной скорости 13 км/ч. Сила упора получена для условий неизменного взаимодействия между корпусом и гребным винтом. Гидравлическая

Таблица 3

Характеристика	Комбинированный буксир		Обычный буксир
	средний гребной винт	боковые гребные винты	
Установленная мощность	$P_B = 600$ кВт 1800 об/мин	$P_B = 600$ кВт 1800 об/мин	$P_B = 2 \times 750$ кВт 1800 об/мин
КПД передачи + эксплуат. резерв, %	12	26	14
Передаточное отношение	$i = 7,617:1$	$i = (5,6+5,1):1$	$i = 7,617:1$
Мощность на гребных винтах, кВт	$P_D = 530$	$2 \times P_D = 220$	$P_D = 640$
Частота вращения, об/мин	236	319	236
Тип гребного винта	Ka-5,75 + No.19A	Ka-4,70 + No.19A	Ka-4,70 + No.19A
Диаметр гребного винта, мм	$D_c = 1850$	$D_s = 1400$	$D = 1850$
Коэффициент попутного потока	$w_c \approx 0,20$	$w_s \approx 0$	$w \approx 0,20$
Коэффициент силы засасывания	$t_c \approx 0,20$	$t_s \approx 0,15$	$t \approx 0,20$
Коэффициент неравномерности потока	$\eta_{Rc} \approx 0,95$	$\eta_{RS} \approx 1,0$	$\eta_R \approx 0,80$

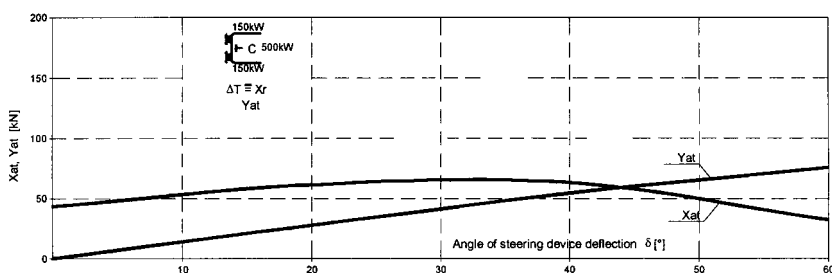


Рис. 5. Продольная и поперечная силы, создаваемые комбинированным буксиром

передача боковых гребных винтов устроена таким образом, чтобы обеспечить увеличение частоты вращения примерно на 10% (увеличение передаточного отношения до 1 : 5, 1). Благодаря этому мощность, поглощенную боковыми гребными винтами, можно поддерживать постоянной во всем диапазоне указанных скоростей.

На основании графиков, приведенных на рис. 4, можно сделать следующие основные выводы. В данном диапазоне скоростей и рассматриваемых установленных мощностей комбинированный буксир-толкач мощностью 1200 кВт развивает почти такую же толкающую силу, как и обычный буксир мощностью 1500 кВт (точки A, B, C, D, E, F). В режиме работы боковых винтов комбинированный буксир-толкач способен развить скорость свыше 13 км/ч (точка G) при буксировке состава (S 1 + 1) из барж Ellв при осадке 2,5 м и глубине воды 5 м.

Кроме того, было проведено сравнение обычного и комбинированного буксиров при одинаковой мощности дизельного двигателя (2 x 480 кВт — соответственно 560 кВт + 2 x 200 кВт). Это сравнение показало: комбинированный буксир-тол-

кач при транспортировке состава (S 1 + 1) из барж Ellв может развить скорость на 0,5 км/ч больше, чем обычный буксир с таким же составом; для диапазона скоростей 11—18 км/ч на комбинированном буксире можно создать пропульсивный комплекс, обеспечивающий пропульсивный КПД на 9—10% выше, чем у соответствующего обычного буксира.

**Маневренность** обычного и комбинированного буксира полезной мощностью 800 кВт сравнивалась при транспортировке буксирного состава (S 1 + 1) из барж Ellв с осадкой 2,5 м. Были определены размер рулей (4 x 1,6 м<sup>2</sup>) и мощность боковых подруливающих устройств (2 x 150 кВт) в соответствии с минимальными требованиями к маневренности [14]. В этих условиях маневренность можно определить прежде всего как параметр, зависящий от уменьшения скорости при маневре на установившейся циркуляции. Другими словами, более высокой маневренностью обладает тот буксир, который может совершить циркуляцию заданного диаметра за более короткое время. Для определения уменьшения скорости при различных углах перекадки руля необходимо при-

менять сложную методику и результаты модельных испытаний [10, 15]. Эта методика описана в работе [4]. Приведем только график сил, генерируемых подруливающими устройствами в зависимости от угла перекадки (рис. 5). Сравнение кривых на рис. 2 и 5 показывает, что подруливающие устройства практически не создают тормозной силы. Наоборот, они увеличивают составляющие  $X_{at}$  выше номинальной величины. Несомненно, за этим следует кратковременное увеличение мощности, поглощенной винтом, которое может быть легко компенсировано резервной мощностью двигателя.

С учетом действующий сил решая уравнение, описывающее поворот на установившейся циркуляции (широко известные дифференциальные уравнения с отбрасыванием всех производных, зависящих от времени), построены графики на рис. 6. В табл. 4 приведены соответствующие исходные данные, отображающие поворот судна на установившейся циркуляции при  $D = 700$  м и скорости циркуляции  $v_0 = 15,37$  км/ч для трех типов рулевых устройств: А — обычные главные рули; В — два полноповоротных подруливающих устройства; С — комбинированный движительно-рулевой комплекс. Результаты расчетов показывают, что буксир с комбинированным движительно-рулевым комплексом выполняет поворот на установившейся циркуляции со значительно меньшим снижением скорости, чем традиционный буксир при транспортировке такого же буксирного состава.

**Регулирование мощности привода.** Согласно ранее сформулированному понятию о «регулировании мощности буксира», комбинированный буксир, используя ту же мощность на прямом отрезке, может получить более высокую прибыль (благодаря более четкому регулированию мощности в соответствии с

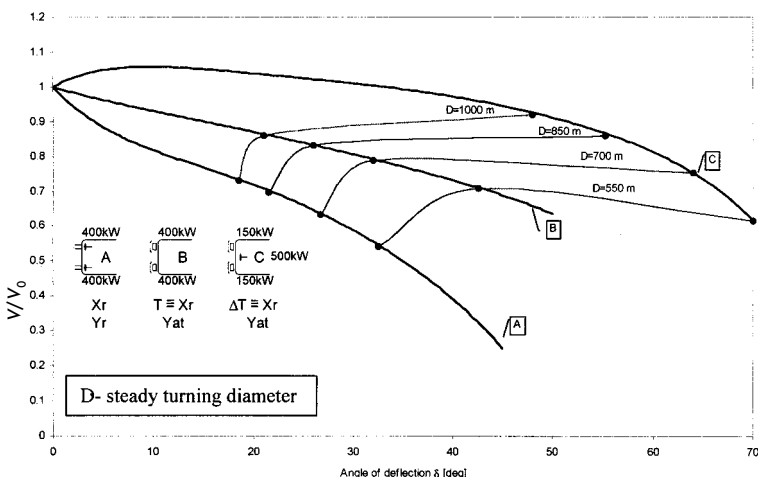


Рис. 6. Уменьшение скорости в зависимости от угла перекадки для трех различных движительно-рулевых комплексов

Таблица 4

Эффективность различных рулевых устройств на установившейся циркуляции			
Тип рулевого устройства	$\delta$ , град.	$v/v_0$	$v$ , км/ч
A	26,7	0,633	9,72921
B	32	0,789	12,1269
C	64	0,752	11,558

Таблица 5

Результаты расчета достижимой скорости транспортировки грузов и прибыли для буксиров традиционной и новой конструкций

Буксирный состав	Тип буксира	Мощность буксира, кВт	Закупочная цена (буксир + баржи), тыс. дол.	Грузоподъемность, т	Скорость, км/ч	Прибыль 1, дол./ч	Прибыль 2, дол./ч
S 1 + 1	Обычный	900	2720	3400	12,5	451	179
S 1 + 1	Комбинированный	900	2420	3400	13,7	500	258
S 2 + 2	Обычный	900	3920	6800	10,0	757	365
S 2 + 2	Комбинированный	900	3620	6800	11,2	855	493

данном буксирным составом), чем обычный буксир. Это объясняется тем, что комбинированный буксир может развивать более высокие скорости и имеет меньшую закупочную стоимость. Кроме того, при выполнении вспомогательных операций (портовые работы, перевозка пустых барж и т. п.) он может использовать только боковые винты. Фактически, когда задний дизельный двигатель отключен, а движение буксира обеспечивает только передний двигатель, комбинированный буксир превращается в портовый.

**Ремонтные и эксплуатационные расходы.** Упрощение движительно-рулевого комплекса достигнуто за счет исключения главных и вспомогательных рулей; кронштейнов гребного вала и их подшипников; одного дейдвудного устройства и одного гребного вала; одного реверсивного редуктора; рулевых устройств для главного руля и вспомогательных рулей и др. Тот факт, что устраненные узлы часто подвергались повреждениям и сильному износу, несомненно будет способствовать значительному сокращению расходов на ремонт и техобслуживание. Кроме того, возможность проведения ремонта подруливающих устройств без по-

становки судна в док будет также способствовать экономии.

**Закупочная стоимость** комбинированного буксира снижается благодаря уменьшению длины судна, упрощению конструкции корпуса, исключению быстроизнашиваемого судового оборудования, установке менее дорогостоящего нового оборудования, модульному формированию судовой надстройки.

В заключение приведем экономические характеристики разработанного буксира (табл. 5). Расчеты выполнены для двух различных буксирных составов, при попутном течении и глубине воды 5 м. Из табл. 5 видно, что новый буксир обеспечивает более высокую прибыль. Кроме того, для конкретной верфи закупочная цена может быть, как показали расчеты, примерно на 10% ниже; примерно на 15% уменьшаются и расходы на ремонт и техобслуживание по сравнению с традиционными буксирами-толкачами.

#### Литература

1. Bilen B., Žerjal M. A new concept of pushboat design // Proceedings of the Seventh International Symposium on Practical Design of Ships and Mobile Units PRADS'98, pp. 785–792, Elsevier Science B. V., The Hague, The Netherlands, September 1998.
2. Bilen B. News in river pushing technology.

Monography of the Institute of Technical Sciences, Serbian Academy of Sciences and Arts. Belgrade, 1997.

3. Gilen B., Bilen-Katić B. Modified Pusher Tug Design for the Danube River // International Shipbuilding Progress, 1997. Vol. 44. No. 438. P. 127–144.
4. Bilen B., Žerjal M. An Optimised Propulsive and Maneuvering System for River Pushboats // Proceeding of the Coastal Ships and Inland Waterways International Conference, RINA, London, Great Britain, 17 & 18th February 1999.
5. Prototype Trials of Push Boat MG-40 KARA\OR\E, Report No. 4355-B, The Institute for Ship Hydrodynamics. Zagreb, March 1986.
6. Model Testing of Pushboat M-672 (Unit MP-14, 2 x 735HP), Report No. 2054-M, The Institute for Ship Hydrodynamics. Zagreb, 1972.
7. Model Tests with a Pushed Barge Train, Report No. 1070, Versuchsanstalt für Binnenschiffbau E. V. Duesburg, June 1983.
8. Prototype Trials of Push Boat «Kumanovo», Report no. 1901-B, The Institute for Ship Hydrodynamics. Zagreb, December 1971.
9. Prototype Trials of Push Boat «Leningrad» (propulsion and maneuver), Report No. 4204-B, The Institute for Ship Hydrodynamics. Zagreb, 1985.
10. The results of initial forces measurements at model M-926 in Kl/B, Report no. 415-M, The Institute for Ship Hydrodynamics. Zagreb, 1985.
11. Oosterveld V. W. C., Van Oossanen P. Recent Developments in Marine Propeller Hydrodynamics, Publication No. 433 of the NSMB, International Jubilee Meeting in Occasion of the 40th Anniversary of the NSMB, August 30 – September 1, 1972.
12. Carlton J. S. Marine Propellers and Propulsion, Butterworth-Heinemann Ltd, Oxford, 1994.
13. Marshal J. L. J., Shen Y.-D., Kicheva D. An Empirical Formula to Estimate the Resistance of a Convoy in a Restricted Waterway // Journal of Ship Research. Vol. 40. No. 2. P. 107–111. SNAME, June 1996.
14. Trans/sc .3/WP .3/R 109, UN Economic and Social Council Economic Commission for Europe Inland transport committee, November 1996.
15. Brandner G., Renilson M. Interaction Between Two Closely Spaced Azimuthing Thrusters // Journal of Ship Research. Vol. 42. No. 1. P. 15–32. SNAME, March 1998.

## ПЕРЕМЕЩЕНИЕ И КАЧКА СУДНА С ЯКОРНОЙ СИСТЕМОЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Т. Шелангевич, профессор Технического университета

Щецина<sup>1</sup>, Польша

УДК 629.12.041.001.24-182.2

Одним из основных эксплуатационных требований для большинства морских технических объектов является необходимость их удержания в заданной позиции относительно

морского дна при различных состояниях окружающей среды (ветер, течение и волнение). Используемые для этой цели якорные системы позиционирования (ЯСП) непосред-

ственно влияют на эффективность выполнения главной либо одной из главных функций плавучего объекта. Аварии системы позиционирования приводят, как правило, к невозможности выполнения основных работ и к отказам оборудования, установленного на таком объекте, а также могут угрожать жизни и здоровью членов экипажа.

Якорная система удержания, являющаяся одним из основных типов систем позиционирования, использу-

<sup>1</sup>Tadeusz Szlangiewicz, prof. Politechnika Szczecińska. Instytut Oceanotechniki i Okretownictwa.



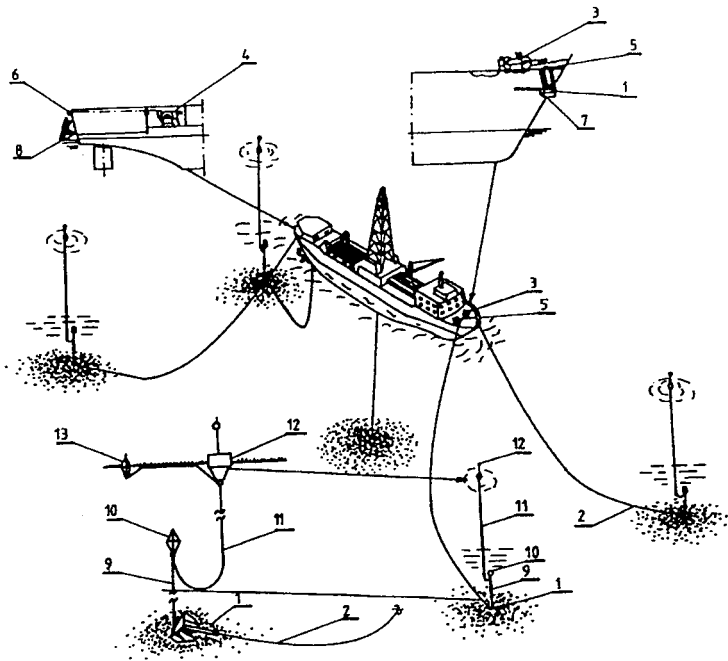


Рис. 1. Состав якорной системы позиционирования на примере бурового судна: 1 — специальный якорь с высокой силой удержания; 2 — якорный трос; 3, 4 — носовая и кормовая якорные лебедки; 5, 6 — носовые и кормовые направляющие якорных тросов; 7, 8 — носовой и кормовой якорные клюзы; 9, 11 — якорные тросы; 10 — стабилизационный буй; 12 — сигнальный буй, оснащенный радарным рефлектором; 13 — плавучий выносной буй

ется на различных видах средств океанотехники, эксплуатирующихся на глубинах от десятков до сотен метров. Распространившиеся в последние годы ЯСП включают в себя от четырех до нескольких десятков якорей, такого же количества якорных линий (тросовых или цепных) и якорных лебедок, соответствующего количества вышек и другого палубного оборудования с компьютерными системами управления (рис. 1).

Чтобы ЯСП могла выполнять свою главную функцию по удержанию позиции, необходимо выполнение двух условий:

$$r_{T(P)max} \leq r_{(P)dop}; \quad F_{T(m)max} \leq F_{(m)dop},$$

где  $r_{T(P)max}$  — максимальное вероятностное перемещение плавучего объекта (некоторой точки  $P$ , обозначенной на плавучем объекте) относительно удерживаемой позиции (рис. 2);  $r_{(P)dop}$  — допустимые горизонтальные перемещения плавучего объекта относительно удерживаемой позиции, значения которых зависят от вида выполняемых на объекте работ (см. рис. 2);  $F_{T(m)max}$  — максимальная вероятностная сила в якорной линии  $m$  системы позиционирования;  $F_{(m)dop}$  — допустимое напряжение в якорной линии  $m$  системы позиционирования, которая

зависит от типа связи «якорь—якорная лебедка»;  $m$  — порядковый номер якорной линии.

Предлагаемый автором способ расчета горизонтальных максимальных перемещений плавучего объекта при определенных состояниях окружающей среды продемонстрирован на примере 4-якорной системы позиционирования геологоразведочного судна (рис. 3).

**Общее уравнение движения стоящего на якорях судна.** На плавучий объект, оборудованный ЯСП, влияют различные внешние нагрузки. Характер такого влияния может быть представлен как временно-пространственный процесс. В соответствии с этим подходом движение плавучего объекта, находящегося под действи-

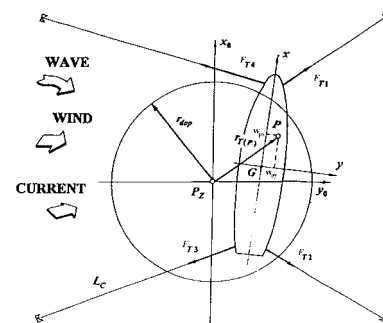


Рис. 2. Схема позиционирования плавучего объекта, оборудованного якорной системой

ем внешних сил, можно представить системой нелинейных стохастических дифференциальных уравнений:

$$[M_{(k,l)}] \{ \ddot{S}_{(l)} \} = \{ F_{HM(k)}(\dot{S}_{(l)}, \dot{S}_{(l)}, S_{(l)}) \} + \{ R_{S(k)}(S_{(l)}, t) \} + \{ F_{E(k)}(S_{(l)}, t) \}, \quad (1)$$

где  $[M_{(k,l)}]$  — матрица обобщенных масс плавучего объекта;  $\dot{S}_{(l)}(t)$ ,  $\ddot{S}_{(l)}(t)$ ,  $S_{(l)}(t)$  — обобщенные значения вероятностей ускорений, скоростей и перемещений плавучего объекта;  $\{ F_{HM(k)} \}$ ,  $\{ R_{S(k)} \}$  — векторы обобщенных значений гидродинамических сил и упругих сил опрокидывания от ЯСП;  $\{ F_{E(k)} \}$  — вектор вероятностных сил от внешней нагрузки;  $k, l = 1, 2, \dots, 6$  — параметры направления силы и движения объекта;  $t$  — временной параметр.

Процесс взаимодействия внешней среды и плавучего объекта можно представить как сумму вероятностных квазистатических  $F_{ES}$  и динамических сил внешней нагрузки  $F_{ED}$ :

$$F_{E(k)}(S_{T(l)}, t) = F_{ES(k)}(S_{S(l)}) + F_{ED(k)}(S_{D(l)}, t),$$

где  $S_{T(l)}$  — случайные перемещения объекта (для  $l = 1, 2, 3$  — поступательные, а для  $l = 4, 5, 6$  — угловые перемещения относительно осей  $X, Y, Z$ );  $S_{S(l)}$  — квазистатические перемещения объекта;  $S_{D(l)}$  — динамические перемещения объекта (колебания).

Квазистатические силы внешней нагрузки  $F_{ES}$ , которые в кратковременных прогнозах принимаются по своим средним значениям, не зависящим от времени, сдвигают плавучий объект с удерживаемой позиции до некоторого среднего положения, определяемого квазистатическими перемещениями  $S_{S(l)}$ . В этом случае определение среднего положения плавучего объекта может быть вычислено путем решения системы детерминированных уравнений. Такой подход был использован в ряде исследований, в том числе в работах [1, 2, 3]. Так, в работе [3] исследовано влияние различных параметров ЯСП и окружающей среды на средние значения положений плавучего объекта.

Динамические влияния окружающей среды, главным образом волнения, можно представить в виде зависимости [4]

$$F_{ED(k)}(t) = \varepsilon F_{ED(k)}^{(1)}(t) + \varepsilon^2 F_{ED(k)}^{(2)}(t) + \dots, \quad (2)$$

где  $F_{ED(k)}^{(1)}(t)$  — обобщенная линейная первого порядка динамическая сила

внешней нагрузки, пропорциональная ординате волны в направлении  $k$ ;  $F_{ED(k)}^{(2)}(t)$  — обобщенная нелинейная второго порядка динамическая сила, которая в случае волнения принимается пропорциональной квадрату ординаты волны;  $\varepsilon$  — малый параметр.

Линейная первого порядка динамическая сила внешней нагрузки инициирует колебания судна, сравнимые с частотой волнения. Как правило, это колебания первого порядка с малыми амплитудами. Нелинейная второго порядка динамическая сила внешней нагрузки инициирует нелинейные второго порядка колебания судна. Последние (так называемые волновые силы дрейфа) являются результатом влияния воздействия групп волн на плавучий объект. Они складываются из двух частей [5]:

$$F_{ED(k)}^{(2)}(t) = F_{L(k)}^{(2)}(t) + F_{H(k)}^{(2)}(t), \quad (3)$$

где  $F_{L(k)}^{(2)}(t)$  — низкочастотная часть волновой силы дрейфа, зависящая от разницы частот волн, входящих в состав группы волн в направлении  $k$ ;  $F_{H(k)}^{(2)}(t)$  — высокочастотная часть волновой силы дрейфа, зависящая от суммы частот тех же волн.

Вызванные волновыми динамическими силами, представленными уравнениями (2) и (3), колебания стоящего на якорях плавучего объекта складываются из колебаний первого порядка, определяемых частотой волны, и колебаний второго порядка высокой и низкой частоты. Случайные колебания для движения / можно представить в виде уравнения

$$S_{D(l)}(t) = \varepsilon S_{l(l)}^{(1)}(t) + \varepsilon^2 [S_{l(l)}^{(2)}(t) + S_{ll(l)}^{(2)}(t)],$$

где  $S_{l(l)}^{(1)}(t)$  — колебания первого порядка;  $S_{l(l)}^{(2)}(t)$ ,  $S_{ll(l)}^{(2)}(t)$  — низкочастотные и высокочастотные колебания второго порядка.

Динамические силы морского волнения инициируют колебания плавучего объекта в 6 степенях свободы. Наличие ЯСП приводит к качественным и количественным изменениям характера колебаний объекта по сравнению с теми же характеристиками свободно плавающего объекта.

Колебания низкой частоты являются результатом влияния  $F_{L(k)}^{(2)}(t)$  на плавучий объект, в особенности для тех степеней свободы, для которых отсутствуют восстанавливающие гидростатические силы (продольные,

поперечные и вертикальные колебания), а существуют упругие восстанавливающие силы от ЯСП. Высокочастотная составляющая  $F_{H(k)}^{(2)}(t)$  инициирует колебания объекта высокой частоты. Так как амплитуды таких сил достаточно малы и находятся вне области собственных колебаний стоящего на якорях объекта, то можно не учитывать такие силы, как это было показано в работе [6]. Полные перемещения стоящего на якорях объекта в функции времени могут быть вычислены с помощью следующего уравнения:

$$S_{T(l)}(t) = S_{l(l)}^{(0)} + S_{l(l)}^{(1)}(t) + S_{l(l)}^{(2)}(t),$$

где  $S_{T(l)}(t)$  — полные перемещения плавучего объекта в функции времени;  $S_{l(l)}^{(0)}$ ,  $S_{l(l)}^{(1)}(t)$ ,  $S_{l(l)}^{(2)}(t)$  — квазистатические и динамические перемещения объекта при колебаниях первого и второго порядка.

Зная ординаты  $\{w_p\}$  точки  $P$  на стоящем на якорю объекте (см. рис. 2), следует определить для проектируемой ЯСП максимально возможные перемещения этой точки  $P$  плавучего объекта для всех возможных состояний окружающей среды:

$$r_{T(F)max} = f[S_{T(l)}(t), w_{(p)}].$$

**Средние квазистатические перемещения стоящего на якорях судна.** Во внешних нагрузках на объекты можно выделить силы, которые в короткие промежутки времени принимают средние значения при определенных скоростях ветра, течения и высоты волн. Эти силы отклоняют стоящее на якорях судно до среднего квазистатического положения,

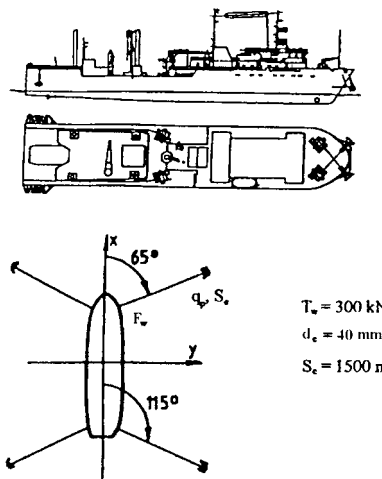


Рис. 3. Геологоразведочное судно с якорной системой позиционирования

которое может быть определено следующей системой уравнений:

$$\{R_{S(k)}(S_{l(l)}^{(0)}) = \{F_{ES(k)}^{(0)}(S_{l(l)}^{(0)})\}, \quad (4)$$

где  $\{R_{S(k)}\}$  — вектор упругих обобщенных сил от якорной системы;  $\{F_{ES(k)}^{(0)}\}$  — вектор средней квазистатической силы от внешних нагрузок;  $\{S_{l(l)}^{(0)}\}$  — вектор квазистатических перемещений судна до среднего положения.

Случайная обобщенная сила от всей якорной системы имеет нелинейный характер, а ее составляющие могут быть представлены суммами соответствующих сил, действующих в отдельных тросах (цепях) якорной системы [3]

$$\{R_{S(k)}\} = \left\{ \sum_{m=1}^n F_{(m,k)} \right\}, \quad (5)$$

где  $F_{(m,k)}$  — сила в якорной линии  $m$  системы позиционирования в направлении  $k$ ;  $n$  — количество якорных линий в системе позиционирования.

Среднее положение в плоскости воды, описанное вектором  $\{S_{l(l)}^{(0)}\}$ , зависит не только от параметров окружающей среды и размеров судна, но и от таких параметров якорной системы как: середина якорных линий  $d_c$ , начальное напряжение якорных линий  $T_w$ , количество и размещение якорных линий. Влияние некоторых параметров на случайные средние перемещения  $r^{(0)}$  для геологоразведочного судна представлено на рис. 4.

**Колебания стоящего на якорях судна в среднем положении.** Динамические силы, вызванные морским волнением и представленные выражением (2), инициируют колебания судна. Так как судно стоит на якорях, то

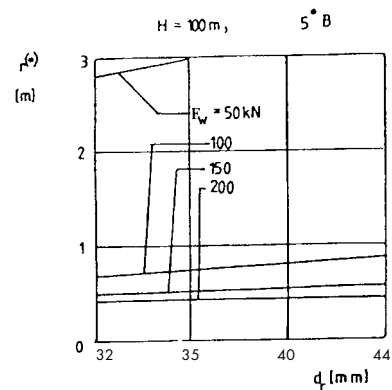


Рис. 4. Влияние средних значений  $d_c$  и начальных напряжений в якорных тросах на средние значения перемещений  $r^{(0)}$  геологоразведочного судна

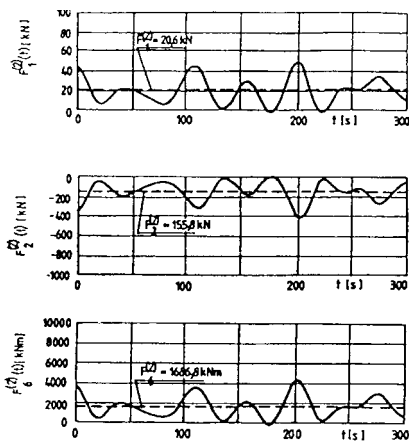


Рис. 5. Значения сил дрейфа, действующих на геологоразведочное судно при нерегулярном волнении (JONSWAP,  $H_s = 2,64$  м,  $T = 6,27$  с,  $\beta_w = 150^\circ$  — то же для рис. 6 и 7)

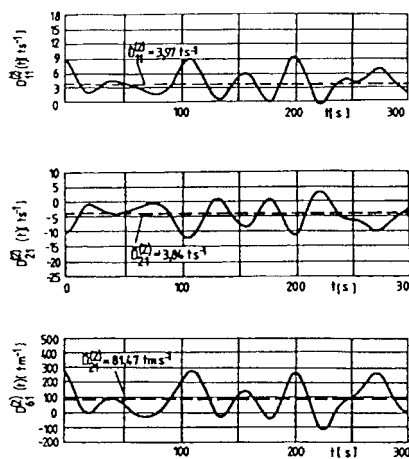


Рис. 6. Коэффициенты демпфирования сил дрейфа, действующих на геологоразведочное судно при нерегулярном волнении

кроме восстанавливающих гидростатических сил на него действуют упругие восстанавливающие силы от ЯСП. В соответствии с этим утверждением колебания судна могут быть представлены в следующем виде

$$S_{D(l)}(t) = \varepsilon S_{(l)}^{(1)}(t) + \varepsilon^2 S_{(l)}^{(2)}(t) + \dots$$

Указанная аппроксимация означает, что уравнение движения (1) может быть представлено как разложение на высокочастотную часть (с частотой морского волнения) для колебаний первого порядка и низкочастотную часть для колебаний второго порядка. В этой ситуации колебания первого порядка накладываются на колебания второго порядка, характеризующиеся низкой частотой, значительными амплитудами перемещений и скоростями колебаний. Тогда систему уравнений (1) можно представить в следующем виде:

для колебаний второго порядка (низкочастотных)

$$\begin{aligned} & ([M_{(k,l)} + [m_{(k,l)}(t)]] \{ \ddot{S}_{(l)}^{(2)}(t) \} + ([B_{V(k,l)}] + \\ & + [D_{(k,l)}^{(2)}]) \{ \dot{S}_{(l)}^{(2)}(t) \} + [C_{S(k,l)}] \{ S_{(l)}^{(2)}(t) \} = \\ & = \{ F_{(k)}^{(2)}(t) \}; \end{aligned} \quad (6)$$

для колебаний первого порядка (с частотой морского волнения)

$$\begin{aligned} & ([M_{(k,l)} + [m_{(k,l)}(t)]] \{ \dot{S}_{(l)}^{(1)}(t) \} + [b_{(k,l)}(t)] \cdot \\ & \cdot \{ S_{(l)}^{(1)}(t) \} + ([C_{H(k,l)}] + [C_{S(k,l)}]) \{ S_{(l)}^{(1)}(t) \} = \\ & = \{ F_{(k)}^{(1)}(t) \}, \end{aligned}$$

где  $[m_{(k,l)}(t)]$  — матрица обобщенных присоединенных масс для нерегуляр-

ного волнения;  $[B_{V(k,l)}]$  — матрица обобщенных линейных коэффициентов сопротивления трения;  $[D_{(k,l)}^{(2)}]$  — матрица обобщенных линейных коэффициентов сопротивления низкочастотных колебаний (или коэффициентов демпфирования дрейфа);  $[C_{S(k,l)}]$  — матрица обобщенных линейных коэффициентов гидростатических восстанавливающих сил  $\{ R_{S(k)} \}$  от якорной системы (5);  $[b_{(k,l)}(t)]$  — матрица обобщенных потенциальных коэффициентов демпфирования колебаний первого порядка на нерегулярном волнении;  $[C_{H(k,l)}]$  — матрица обобщенных коэффициентов гидростатических восстанавливающих сил.

В соответствии с результатами исследований, представленных в [5], в системе уравнений (6) коэффициенты матрицы  $[m_{(k,l)}(t)]$  для независимых параметров колебаний слабо связаны с частотой этих колебаний. Поэтому при расчетах колебаний объектов на нерегулярном волнении эта матрица не зависит от временного параметра.

Вместе с тем, в системе уравнений (6), отображающей колебания первого и второго порядка, коэффициенты матриц  $[m_{(k,l)}(t)]$  и  $[b_{(k,l)}(t)]$  зависят от частоты морского волнения. Чтобы определить колебания судна первого порядка на нерегулярном волнении, должны быть известны значения коэффициентов этих матриц. В соответствии с результатами, полученными в работе [7], колебания  $S(t)$ , вызванные внешней нагрузкой  $F(t)$ , можно определить на основании системы реакций  $K(t)$  на импульсные внешние нагрузки

$$S(t) = \int_0^t K(\tau) F(t - \tau) d\tau.$$

Для определения колебаний плавучих объектов на нерегулярном волнении воспользуемся теорией импульсных функций перемещений, изложенной в работе [8]. Исходя из этой теории, потенциальное демпфирование колебаний первого порядка на нерегулярном волнении может быть представлено в следующем виде

$$[b_{(k,l)}(t)] \{ \dot{S}_{(l)}^{(1)} \} = \int_0^t [K_{(k,l)}(\tau)] \{ \dot{S}_{(l)}^{(1)}(t - \tau) \} d\tau,$$

а присоединенные массы могут быть представлены как

$$[m_{(k,l)}(t)] = [m_{(k,l)}(\bar{\omega})] + 1/\bar{\omega} \int_0^t [K_{(k,l)}(\tau)] \cdot \sin(\bar{\omega}t) dt, \quad (7)$$

где  $[K_{(k,l)}]$  — матрица импульсных функций перемещений;  $[m_{(k,l)}(\bar{\omega})]$  — матрица обобщенных присоединенных масс для регулярного волнения с частотой  $\bar{\omega}$ ;  $\tau$  — выбранный отрезок времени.

Вид функции  $K_{(k,l)}(t)$  для плавучих объектов предлагается выбирать в соответствии с рекомендациями [9].

**Влияние переменных параметров колебаний судна, стоящего на якорях, на характеристики колебаний первого порядка.** Принятые в (7) и [9] коэффициенты гидродинамических сил  $[m_{(k,l)}(\omega)]$  и  $[b_{(k,l)}(\omega)]$ , а также силы морского волнения первого порядка  $F_{(k)}^{(1)}(t)$  для судна, совершающего малые колебания первого порядка, зависят от частоты волн, глубины воды и геометрии подводной части корпуса. Следует помнить, что величина внешних нагрузок от морского волнения  $F_{(k)}^{(1)}(t)$  дополнительно зависит от параметра  $\beta_{wp}$  определяющего направление набегания волны на судно. Судно, стоящее на якорях, испытывает колебания первого и второго порядка с большими амплитудами перемещений и скоростей. Поэтому коэффициенты гидродинамических сил и сил от внешней нагрузки для колебаний первого порядка зависят от текущих значений перемещений и скоростей колебаний второго порядка.

Колебания первого порядка могут быть представлены линейной системой дифференциальных уравне-

ний (6), при этом в расчетах сил морского волнения  $F_{(k)}^{(1)}$  первого порядка следует помнить, что их производные по перемещениям  $S_{(l)}^{(2)}$  для  $l = 1, 2$  равняются нулю, т. е. возмущающая сила не зависит от продольных и поперечных перемещений. В то же время, для  $l = 6$ , соответствующей низкочастотному рысканию, производная силы  $F_{(k)}^{(1)}$  по  $S_{(6)}^{(2)} = \psi^{(2)}$  отлична от нуля, так как имеют место изменения направления набегания волн. Влияние  $\psi^{(2)}$  на направление набегания волн на судно может быть учтено следующим способом:

$$\beta_w(t) = \bar{\beta}_w + \psi^{(2)}(t),$$

где  $\beta_w(t)$  — переменный параметр, определяющий направление набегания волн на судно в функции времени;  $\bar{\beta}_w$  — усредненное направление набегания волн на судно.

Все остальные коэффициенты гидродинамических сил  $[m_{(k,l)}(\omega)]$ ,  $[b_{(k,l)}(\omega)]$  и сила морского волнения  $F_{(k)}^{(1)}(t)$  для  $k, l = 3, 4, 5$ , которые не зависят от колебаний второго порядка, могут приниматься в виде постоянных величин.

**Результаты расчетов перемещений и колебаний геологоразведочного судна, стоящего на якорях.** Расчеты полных перемещений судна на нерегулярном волнении базировались на оценках его квазистатических перемещений до среднего положения в соответствии с уравнением (4), а при оценке низкочастотных колебаний использовалось уравнение (6). Так как уравнения (4) и (6) являются нелинейными, а их линеаризация приводит к существенным ошибкам [10], то для их разрешения использовался имитационный метод. Такой подход является очень трудоемким, однако отличается высокой точностью при решении задач, имеющих сложный вероятностный характер [11].

Определение случайных перемещений и колебаний геологоразведочного судна, использующего ЯСП (см. рис. 4) и эксплуатирующегося на нерегулярном волнении, было выполнено путем решения нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих низкочастотные (второго порядка) колебания судна при квазистатических перемещениях и линейных дифференциальных уравнений, описывающих высокочастотные (первого порядка) колебания

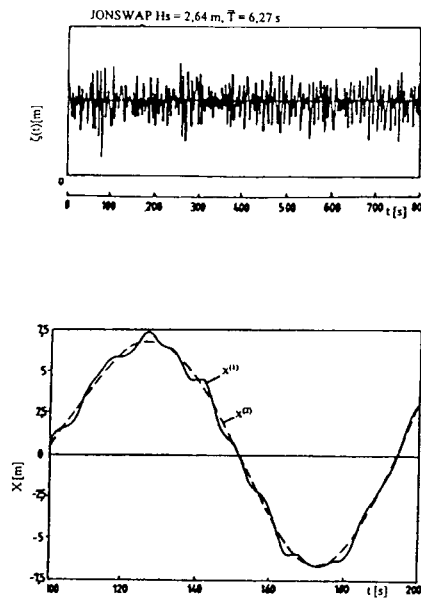


Рис. 7. Динамика колебаний геологоразведочного судна, стоящего на якорях

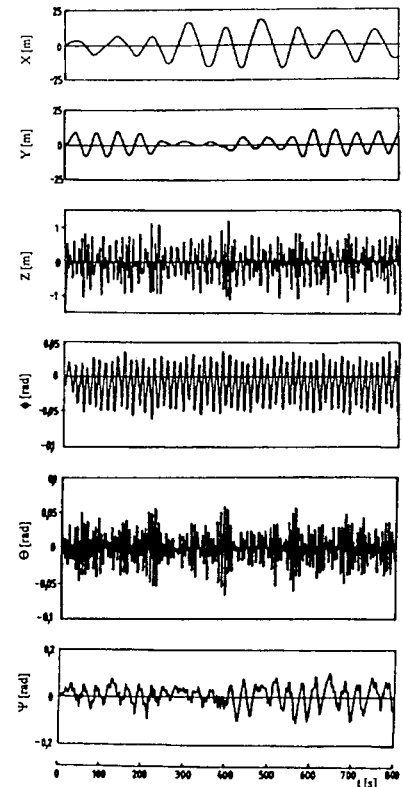
судна, выполняющего одновременно низкочастотные колебания.

Результаты расчета низкочастотной силы волнового дрейфа при нерегулярном волнении  $F_{(k)}^{(2)}(t)$  и коэффициенты демпфирования дрейфа  $D_{(k,l)}^{(2)}$  представлены в работах [10, 12]. Коэффициенты гидродинамических сил и сил морского волнения первого порядка при регулярном волнении рассчитаны в соответствии с алгоритмом [13].

Расчеты случайных колебаний первого и второго порядка геологоразведочного судна выполнены исходя из следующих параметров нерегулярного волнения: высота волны  $H_s = 2,64$  м, средний период волны  $T = 6,27$  с, среднее начальное направление  $\beta_w = 150^\circ$ , спектр волнения JONSWAP.

Изменение во времени ординаты нерегулярного волнения, а также случайных колебаний судна, стоящего на якорях, и отдельный фрагмент продольных колебаний геологоразведочного судна представлены на рис. 7.

**Заключение.** В статье предлагается математическая модель, позволяющая моделировать перемещения и колебания судна, стоящего на якорях, под воздействием внешних нагрузок. Представленные результаты расчетов выполнены в предположении, что плавучий объект разме-



щен на глубокой воде и на него воздействуют только силы морского волнения. Из практики эксплуатации известно, что плавучие объекты часто используются на мелководье. В этих случаях необходимо учитывать влияние морского дна, что в значительной степени изменяет параметры морского волнения и, следовательно, характер колебаний самого объекта, напряжений в якорных тросах и т. д. Автор предполагает рассмотреть эти вопросы в следующих своих работах.

Представленная работа выполнена при спонсорской поддержке Польского Комитета научных исследований — BW/1999.

#### Литература

1. Konroski S. R., Palo P. A. Validation of Static Mooring Analysis Model with Full-Scale Data. OTC 5677, Houston, Texas, May 2—5, 1988. P. 553—560.
2. Openheim B. W. Interactive Design and Operations of Moorings, Transaction of the ASME/Journal of Offshore Mechanics and Artic Engineering. 1989. Vol. 111. November. P. 311—317.
3. Szelangiewicz T. i inni. Analiza dynamiczna obiektow plywajacych z ciegnowym systemem utrzymania pozycji na wzburzonym morzu. Praca naukowodawcza MR-1-27, Instytut Okretowy, Politechnica Szczecinska, 1982—1984.

4. Wichers J. E. A simulation model for a single point moored tanker, Publication No. 797, Maritime Research Institute Netherlands, Wageningen, The Netherlands, 1988.  
 5. Pinster J. A. Low Frequency Second Order Wave Exciting Forces on Floating Structures, Netherlands Ship Model Basin, Publication No. 650, Wageningen, The Netherlands, 1980.  
 6. Langley R. S. Second order frequency domain analysis of moored vessels//Applied Ocean Research. 1987. Vol. 9, No. 1. P. 7—18.  
 7. Osinski Zb. Teoria drgan. Panstwowe Wydawnictwo Naukowe, Warszawa, 1982.

8. Cummins W. E. The impulse response function and ship motions//Schiffstechnic. 1962. Vol. 47. No. 9. January. P. 101—109.  
 9. Ogilvie T. F. Recent progress towards the understanding and prediction of ship motions//Fifth Symposium on Naval Hydrodynamics, Bergen, 1964.  
 10. Szelangiewicz T. Simulation in time domain of low frequency motions a moored ship with non-linear viscous damping force//Marine Technology Transaction, Polish Academy of Sciences Branch in Gdansk. 1995. Vol. 5. P. 341—357.  
 11. Szelangiewicz T. A simulation model for a

mooring positioning system of a vessel in presence of wind, current and waves//Polish Maritime Research. 1996, Vol. 3. No. 2(8). June. P. 8—16.  
 12. Szelangiewicz T. Wolnozmiennie kolysania zakotwiczonego statku na regularnej fali grupowej//Marine Technology Transaction Polish Academy of Sciences Branch in Gdansk, 1992. Vol. 3. P. 137—159.  
 13. Dudziak J. Algorytm prognozowania własności morskich statku podobnego obiektu oceanotechnicznego na fali w warunkach ograniczonej głębokości wody i prądu. Centrum Techniki Okretowej, RH-88/Z-83, Gdansk, 1988.

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ МЕТОД РАСЧЕТА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ОБОЛОЧЕК ПОДВОДНЫХ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

А. И. Шитов, канд. техн. наук (ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова)

УДК 624.074.4.046.2:629.58

Оценка несущей способности оболочек подводных технических средств (ПТС) представляет собой достаточно сложную задачу, решение которой выполняется, как правило, с помощью различных численных методов, которые, несмотря на свою универсальность, не позволяют получить аналитические зависимости, удобные для инженерного анализа и физического представления особенностей работы конструкций. С целью получения таких зависимостей установим некоторые соотношения. Рассмотрим материал с идеальной упругопластической диаграммой, для которого связь между интенсивностью деформаций и интенсивностью напряжений  $\sigma_i$  характеризуется диаграммой с двумя участками: линейно-упругим — с модулем Юнга  $E$  — и пластическим без упрочнения. Переход в пластическое состояние определяется условием текучести Мизеса:

$$\sigma_i = \sigma_T, \quad (1)$$

где  $\sigma_T$  — предел текучести материала.

Пусть в произвольной точке некоторого тела выполняется условие текучести (1). В соответствии с теорией малых упругопластических деформаций [1] связь между напряжениями и деформациями (коэффициент Пуассона  $\mu = 0,5$ ) определяется соотношениями

$$\sigma_1 = \frac{4\sigma_i}{3e_1} \left( e_1 + \frac{1}{2}e_2 \right); \quad \sigma_2 = \frac{4\sigma_i}{3e_2} \left( e_2 + \frac{1}{2}e_1 \right), \quad (2)$$

где  $\sigma_1, \sigma_2$  и  $e_1, e_2$  — главные напряжения и деформации соответственно.

Из формулы (2) можно определить приращение напряжений, выраженное через приращение деформаций в рассматриваемой точке тела, для которых из условия текучести (1) получено с учетом данных работы [2]:

$$d\sigma_1 = d\sigma_2 = 0. \quad (3)$$

Из равенства (3) следует, что в произвольной точке несжимаемого идеального упругопластического тела после достижения текучести отсутствуют приращения главных напряжений при деформировании в пластической области. При этом величины напряжений, удовлетворяя условию (1), могут быть произвольными, в отличие от используемых в практике инженерных оценок допущений о равенстве пределу текучести напряжений в пластически деформируемом материале.

На основании условия (3) получено:

$$e_1/e_2 = de_1/de_2, \quad (4)$$

что определяет постоянство отношения компонентов деформаций.

Поскольку равенство (4) справедливо для решения упругой задачи о напряженном состоянии оболочек ПТС, которое линейно зависит от параметра нагрузки, можно сделать вывод о постоянстве отношения деформаций в конкретной точке

тела как в упругом, так и в пластическом состоянии на протяжении всего процесса нагружения оболочки. Это обстоятельство позволяет получить оценку предельного значения нагрузки при достижении текучести по всей толщине оболочки, т. е. определить критическое давление при потере несущей способности.

Особенность замкнутых оболочек вращения, находящихся под действием гидростатического давления, заключается в статической определенности осевого усилия  $Q_1 = Pr/2$ , где  $P$  — давление;  $r$  — радиус срединной поверхности оболочки по нормали к осевой линии.

Усилия  $T_1$  и  $T_2$  в срединной поверхности выражаются через деформации по формулам, приведенным в работе [1]. Из общих соотношений [1] можно получить:

$$T_1 \varepsilon_1 + T_2 \varepsilon_2 = \sigma_T(e_{11} - e_{12}), \quad (5)$$

где  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  — приращения кривизны срединной поверхности оболочки;  $e_{11}, e_{12}$  — интенсивность деформаций на наружной и внутренней поверхностях оболочек соответственно.

Соотношение между усилиями и отношениями компонентов деформаций является исходным для получения критических нагрузок потери несущей способности оболочек ПТС, поскольку отношения компонентов деформаций определяются упругим решением, а усилие  $T_1$  может быть точно или приближенно определено через  $Q_1$ .

Рассмотрим использование исходного уравнения (5) к решению конкретных задач.

**1. Несущая способность обшивки цилиндрического, подкрепленного шпангоутами корпуса ПТС.** В этом случае  $\varepsilon_2 = 0, T_1 = Q_1$ , тогда критическое давление

$$P_{кр} = \frac{2\sigma_T}{r} \cdot \frac{e_{i1} - e_{i2}}{\alpha_1} \quad (6)$$

Используя известное решение рассматриваемой задачи [3], из условия (6) следует:

$$P_{кр} = \frac{1,15\sigma_T t}{r} (A_1 - B_1), \quad (7)$$

где  $A_1, B_1$  — интегралы, определенные в [1].

$$A_1 = \sqrt{\left(\frac{0,5}{K_M^0} + 1\right)^2 + \left(\frac{K_2^0 - 0,15}{K_M^0}\right)^2}; \quad (8)$$

$$B_1 = \sqrt{\left(\frac{0,5}{K_M^0} - 1\right)^2 + \left(\frac{K_2^0 - 0,15}{K_M^0}\right)^2};$$

где  $K_2^0, K_M^0$  — коэффициенты, зависящие от геометрических параметров оболочки ( $U = 0,642l/\sqrt{rt}$ ;  $\beta = t/F$ );  $t$  — толщина оболочки;  $l$  — шпация;  $F$  — площадь поперечного сечения шпангоута.

Формулы, определяющие  $K_2^0$  и  $K_M^0$ , приведены в работе [3], графическая зависимость от  $U, \beta$  для  $K_2^0$  — в [4], а  $K_M^0$  — в [2].

Относительное критическое давление  $P_{кр}^0 = P_{кр}/\sigma_T t$ , вычисленное по формуле (8), дано в табл. 1, где также для сравнения приведены соответствующие результаты, полученные по известной формуле из работы [4]:

$$P_{кр}^0 = \eta_2 P_{кр}', \quad (9)$$

где  $P_{кр}'$  — теоретическое критическое давление потери устойчивости обшивки;  $\eta_2$  — коэффициент, учитывающий отступления от закона Гука.

При вычислении принималось:

$$\sigma_{кр}'/\sigma_T > 1,8, \quad (10)$$

что с погрешностью менее 5% приводит к соотношению

$$P_{кр}^0 = \sigma_T t / K_2^0 r. \quad (11)$$

Из табл. 1 видно, что результаты вычислений по формулам (7) и (11) в широком диапазоне геометрических параметров оболочек практически совпадают. Следовательно, предложенный метод расчета не про-

Таблица 1

**Относительное критическое давление обшивки цилиндрических корпусов в зависимости от геометрических параметров оболочки**

U	Относительное критическое давление			
	$\beta = 1,5$	$\beta = 2,0$	$\beta = 2,5$	$\beta = 3,0$
0,5	1,49/1,51	1,40/1,39	1,34/1,32	1,30/1,27
0,6	1,48/1,50	1,39/1,39	1,33/1,31	1,29/1,27
0,7	1,47/1,49	1,38/1,38	1,33/1,31	1,29/1,26
0,8	1,45/1,48	1,37/1,37	1,32/1,30	1,28/1,25
0,9	1,42/1,45	1,35/1,35	1,30/1,29	1,27/1,24
1,0	1,38/1,42	1,32/1,33	1,28/1,27	1,25/1,23
1,2	1,29/1,34	1,26/1,27	1,23/1,23	1,21/1,19
1,5	1,14/1,19	1,14/1,16	1,13/1,14	1,13/1,12
2,0	1,00/1,01	1,01/1,00	1,02/1,00	1,02/1,00
3,0	0,97/0,93	0,98/0,93	0,98/0,94	0,99/0,94

Примечание. В числителе приведены данные по формуле (7), в знаменателе — по формуле (11).

Таблица 2

**Результаты расчетов напряженного состояния и несущей способности полисферической оболочки в районе цилиндрического комингса**

$F_k/F$	$t_k/t$	$\bar{\sigma}$	$K_{10}$	$K_{20}$	$K_{изг}$	$P_{кр}^0$	$P_{кр}/P_{ЭВМ}$
2,00	3,0	1,4	1,05	0,92	0,16	2,01	1,05
1,50	3,0	1,4	1,00	1,03	0,01	1,97	1,03
1,33	2,0	1,4	0,95	1,16	0,10	1,87	1,01
1,00	2,0	1,4	0,90	1,28	0,26	1,74	1,02
0,67	2,0	1,4	0,81	1,52	0,59	1,44	1,00
1,00	2,0	1,4	0,87	1,29	0,57	1,66	1,04
1,00	2,0	1,4	0,88	1,38	0,26	1,63	1,02
0,83	1,67	1,4	0,85	1,43	0,38	1,57	1,01
0,83	1,67	1,4	0,82	1,43	0,69	1,49	1,02
0,83	1,67	1,4	0,82	1,55	0,38	1,46	1,04
0,56	1,67	1,4	0,75	1,66	0,73	1,29	0,98
0,56	1,67	1,4	0,73	1,66	0,91	1,24	0,97
0,75	1,5	1,4	0,82	1,52	0,45	1,47	1,01
0,75	1,5	1,4	0,79	1,51	0,79	1,39	0,99
0,50	1,5	1,4	0,70	1,74	1,00	1,16	0,96
0,50	1,5	1,4	0,72	1,76	0,79	1,21	0,96
0,44	1,33	1,4	0,69	1,87	0,84	1,13	0,96
0,50	1,0	1,4	0,66	1,88	1,08	1,07	1,02
0,50	1,0	1,4	0,64	2,14	0,69	1,01	1,05
2,0	3,0	2,0	1,05	0,92	0,16	2,01	1,01
1,5	3,0	2,0	0,99	1,06	0,02	1,95	0,97
1,0	2,0	2,0	0,87	1,29	0,51	1,68	0,98
1,0	1,0	2,0	0,64	2,14	0,69	1,01	0,98
2,0	3,0	5,0	1,05	0,92	0,16	2,01	1,04
1,0	2,0	5,0	0,87	1,38	0,26	1,64	0,97

Примечание.  $K_{10}, K_{20}, K_{изг}$  — концентрация напряжений по меридианальным цепным, тангенциальным цепным и изгибно-меридианальным направлениям, соответственно;  $F_k$  — площадь продольного сечения выреза в сфере;  $t_k/t$  — отношение толщины комингса к толщине сферы;  $r/R = 0,2$  — отношение радиуса выреза в сфере к радиусу сферы;  $R/t = 30 \pm 50$  — отношение радиуса сферы к толщине;  $\bar{\sigma} = 0,605E\epsilon/\sigma_T R$  — параметр напряженности сферы.

тиворечит очевидному условию потери несущей способности (11) геометрически идеальной цилиндрической оболочки, которое отражает равенство окружных напряжений в обшивке посредине шпации пределу текучести.

**2. Несущая способность сферической оболочки полисферического корпуса ПТС в районе соединительного комингса.** Прочность корпуса ПТС определяется несущей

способностью самих сфер, входящих в состав корпуса, и оболочек в районах сопряжения сфер с комингсом, соединяющим сферические оболочки.

Остановимся на втором варианте. Решение задачи в этом случае достаточно точно может быть выполнено численными методами на ЭВМ.

В табл. 2 приведены результаты расчетов на ЭВМ<sup>1</sup> по программе [5]. Комингс рассматривался как ци-

<sup>1</sup>Расчеты на ЭВМ по программе [5] выполнены И. А. Сараяевой.

линдрическая оболочка постоянной толщины. Форма оболочек принималась идеальной. В выполненных расчетах для линейно-упругого материала было определено вначале напряженное состояние и полученные коэффициенты концентрации напряжений по сравнению с безмоментным решением.

Величина цепных напряжений в меридианальном направлении определяет усилия  $T_1$ , входящего в (5):

$$T_1 = K_{10} Q_1 \quad (12)$$

В итоге получаем (при  $\alpha_2 = 0$ )

$$P_{кр}^0 = \frac{\sigma_T t}{K_{10} R} \cdot \frac{e_{i1} - e_{i2}}{\alpha_1 t / 2}; \quad (13)$$

$$\frac{e_{i1,2}}{\alpha_1 t / 2} = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\left(\frac{K_{10}}{K_{изг}} \pm 1\right)^2 + \left(\frac{4 K_{20} - 0,5 K_{10}}{K_{изг}}\right)^2} \quad (14)$$

Значение относительного критического давления  $P_{кр}^0$  вычисленное по формулам (13) и (14), а также отношение  $P_{кр}$  к результатам расчета несущей способности на ЭВМ ( $P_{ЭВМ}$ ) по программе [5], определяющего погрешность расчетов, выполненных по формулам (13) и (14), приведены в табл. 2.

Анализ данных табл. 2 показывает, что предлагаемый метод позволяет использовать точные решения упругой задачи, полученные на ЭВМ, для оценки критического давления потери несущей способности с приемлемой для практических расчетов точностью.

Приведенные примеры использования предложенного метода для расчета критических нагрузок потери несущей способности оболочек подводных технических средств демонстрируют достаточно хорошее совпадение с имеющимися точными решениями. Указанное об-

стоятельство позволяет рекомендовать метод для практического применения при наличии достаточно точного упругого решения по оценке напряженно-деформированного состояния рассматриваемых конструкций.

**Литература**

1. Ильющин А. А. Пластичность. М.: Гостехиздат, 1948.
2. Шитов А. И. Несущая способность цилиндрических оболочек подводных технических средств // Труды Центрального научно-исследовательского института им. акад. А. Н. Крылова. 1997. Вып. 5 (289).
3. Палкович П. Ф. Строительная механика корабля. М.: Морской транспорт, 1945.
4. Соломенко Н. С., Абрамян К. Г., Сорокин В. В. Прочность и устойчивость пластин и оболочек судового корпуса. Л.: Судостроение, 1967.
5. Ибномминов В. Р. Несущая способность сферических оболочек с несовершенствами формы // Сб. докладов Всесоюзной конференции по статике и динамике проектирования конструкций. Киев: КИСИ, 1985.

## НИКОЛАЮ ИОСИФОВИЧУ КВАШЕ — 70 ЛЕТ

8 декабря 1999 г. исполняется 70 лет со дня рождения генерального директора — генерального конструктора ОАО «ЦКБ Лазурит», Героя России, лауреата премии Правительства Российской Федерации, Почетного гражданина Нижегородской области Николая Иосифовича Кваши.

Н. И. Кваша после окончания Харьковского политехнического института в 1953 г. начал трудовую деятельность инженером-конструктором на заводе «Красное Сормово», а с февраля 1957 г. работает в ЦКБ «Лазурит». Здесь он занимал должности ведущего инженера, заместителя главного конструктора проекта, начальника отдела, главного инженера, главного конструктора проектов. В феврале 1993 г. Николай Иосифович возглавил коллектив бюро.

Н. И. Кваша принимал активное участие в разработке эскизных, технических и рабочих проектов практически всех кораблей, спроектированных ЦКБ. При его непосредственном участии осуществлялись испытания и сдача таких заказов, как П613, 644, 665, 651Э, «Скат», «Скат-М», «Кефаль», «Ленок», «Амур», «Приз», «Бестер» и многих других.

Особый вклад в развитие отечественного кораблестроения Н. И. Кваша внес, являясь главным конструктором заказа «Барракуда». Он лично разработал концепцию высокоэффективного корабля, отличающегося большим количеством специальных изделий и резко сниженными физическими полями; были разработаны и условия создания специального режима движения, что во многом легло в основу создания новых специализированных заказов в стране.

Под руководством Николая Иосифовича был определен и проведен весь комплекс исследований и опытных работ, выполнены проектирование, постройка, испытание, сдача и опытная эксплуатация «Барракуды» из нового перспективного материала — титанового сплава. Он является

автором основных решений, обеспечивающих высокие тактико-технические характеристики заказа, таких как мощный потенциал, высокая скрытность, повышенная боеготовность, высокая живучесть и низкие эксплуатационные расходы. Корабль по своей боевой эффективности превосходит созданные ранее как отечественные, так и зарубежные корабли данного типа.



**Н. И. Кваша, генеральный директор — генеральный конструктор ОАО «ЦКБ Лазурит»**

За последние годы при непосредственном руководстве и личном участии Н. И. Кваши разработаны:

комплекс подводных технических средств добычи нефти и газа на арктических глубоководных месторождениях в составе подводного бурового судна и подводных технологических блоков-сателлитов (впервые в мире);

комплекс плавучих технических средств для заглубления морских трубопроводов и выполнения дноуглубительных работ на

шельфе применительно к суровым арктическим условиям, включающий в себя судно-земснаряд, грунтоотвозное судно, плавучий грунтотвод, якорный и концевой понтоны, судозавозный кран;

многоцелевое судно для подводно-технических и водолазных работ;

изыскательско-водолазное судно для научно-исследовательских работ;

погружающееся судно для подводно-технических работ со спасательными подводными аппаратами для оказания помощи и спасения личного состава аварийного объекта, выполнения водолазных работ и работ по обустройству и эксплуатации морских месторождений нефти и газа;

плавучее средство для ремонта трубопроводов на переходах водных путей;

малые универсальные рыбопромысловые суда и средний рыболовный траулер;

блочная газотурбинная электростанция мощностью 9,5 МВт;

медицинские воздушные многоместные и одноместные барокомплексы (стационарные и передвижные) для оказания срочной помощи с использованием прогрессивного метода гипербарической оксигенации.

За выдающиеся заслуги в развитии отечественного кораблестроения Н. И. Кваша в 1993 г. удостоен высокого звания Героя России, он награжден орденом Ленина, двумя орденами Трудового Красного Знамени, орденом «Знак Почета», многими медалями.

По результатам исследования, проведенного независимыми экспертами в 1997 г., Н. И. Кваша удостоен международной награды «Эртсмейкер» в номинации «За мудрость и гибкость политики управления».

Сердечно поздравляем Вас, уважаемый Николай Иосифович, с юбилеем и желаем крепкого здоровья, успехов и дальнейшей плодотворной творческой деятельности на благо российского кораблестроения и флота.

## РАЗВИТИЕ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДВОДНЫХ ЛОДОК (В порядке обсуждения)

Б. В. Никифоров (ЦКБ МТ «Рубин»)

УДК 621-83(1-81):629.5.035:629.585

Применявшиеся на подводных лодках (ПЛ) 1-го поколения электроприводы можно охарактеризовать следующим образом: подавляющая их часть была представлена коллекторными двигателями постоянного тока (ДПТ), исключение составляли единичные агрегаты, приводимые в действие асинхронными двигателями переменного тока.

Благодаря хорошим регулировочным характеристикам, высоким значениям пускового момента, простоте управления, ДПТ нашли широкое применение в приводах различной мощности с большим диапазоном регулирования частоты вращения.

Основной недостаток ДПТ — наличие щеточно-коллекторного узла, осуществляющего коммутацию секций якорной обмотки, работа которого, особенно при больших нагрузках и реверсе, сопровождается искрением, что вызывает повышенный износ коллектора, выгорание щеток, появление электромагнитных помех.

Комплекс мер, направленных на улучшение условий коммутации, таких как применение дополнительных полюсов, использование специальных компенсационных обмоток, увеличение числа коллекторных пластин, приводило к усложнению конструкции ДПТ, ухудшению его массогабаритных показателей, не обеспечивая полного устранения указанных явлений.

Кроме того, наличие щеточно-коллекторного узла обуславливает необходимость периодического обслуживания ДПТ в процессе эксплуатации, в том числе чистки двигателя от графитовой пыли, замены изношенных щеток, «продороживания» коллектора, что ухудшает эксплуатационные характеристики привода. Наличие скользящего контакта и работа щеточно-коллекторного узла ухудшают и виброакустические характеристики (ВАХ). Для ДПТ большой мощности с удовлетворительным КПД изменять частоту вращения возможно только путем регулирования питающего напряжения, что требует использования дополнительного оборудования, например регуляторов напряжения.

Эти причины привели к сдаче позиций электроприводов постоянного тока (по зарубежным данным к 2000г. их доля в общем объеме производства регулируемых электроприводов составит не более 15%) электроприводам переменного тока.

Электроприводы различных типов, применяемые на ПЛ 2-го и 3-го поколений, принципиальных отличий не имеют и могут быть охарактеризованы следующим образом: абсолютное большинство двигателей представляет собой нерегулируемые односкоростные асинхронные двигатели (АД); ДПТ используются только в электромашинных преобразователях, пусковом оборудовании, системе вентиляции аккумуляторной батареи и некоторых единичных агрегатах; регулируемый электропривод представлен в основном двухскоростными АД.

Основное достоинство АД с короткозамкнутым ротором — достаточно простая конструкция, высокая надежность, сравнительно хорошие массогабаритные характеристики. Применение таких двигателей целесообразно в приводах, не требующих регулирования частоты вращения от источника переменного тока. Для плавного изменения частоты вращения практически применим только метод частотного регулирования. Этот метод удалось реализовать с развитием полупроводниковой техники, что позволило несколько сгладить один из принципиальных недостатков этого двигателя. Но необходимость применения преобразователя частоты по существу сводит на нет все преимущества собственно двигателя, так как общие массогабаритные характеристики и КПД системы получаются невысокими.

АД с фазным ротором обеспечивают возможность регулирования частоты вращения регулировочными сопротивлениями, вводимыми в цепи обмотки ротора с помощью щеточного контакта через контактные кольца, что также может обеспечить при пуске достаточную величину пускового момента. Однако появление скользящего контакта приводит к усложнению конструкции ротора, снижению его надежности, повышению уровня шумов и вибраций. Кроме того, метод регулирования с помощью сопротивлений ухудшает КПД двигателя. При больших скольжениях (при малых оборотах) двигатель работает плохо — значительно снижается  $\cos\phi$ , увеличивается потребляемый ток. Другой недостаток АД — уменьшенные пусковой и максимальный моменты — обусловлен принципом действия и неустраним.

Опыт эксплуатации ПЛ 2-го и 3-го поколений подтвердил высокие эксплуатационные качества асинхронного электропривода:



Таблица 1

**Результаты экспертной оценки по показателям качества регулируемых электроприводов различных типов**

Показатель	ДПТ	АД	ВДПМ	РИД
Конструкция двигателя	—	+	—	+
Электронный преобразователь	+	—	—	0
Элементы управления	+	—	0	0
Динамика	—	0	+	+
Стоимость	—	0	—	+
Нагрев ротора	—	—	+	+
Ослабление поля	—	+	—	+
Пульсации скорости и момента	+	0	+	—
Электромагнитная совместимость	+	—	+	0
Эксплуатация	—	+	0	+
Надежность	—	0	0	+

Примечание. Знаки «+» и «-» соответствуют лучшему и худшему, а 0 — среднему значениям.

высокую надежность, низкую стоимость, простоту технического обслуживания, надежность пускорегулирующей аппаратуры, большой моторесурс, хорошие массогабаритные показатели.

Следует отметить, что использование в качестве приводных двигателей асинхронных машин имеет также и отрицательные стороны: сложность регулирования частоты вращения привода; высокую чувствительность АД к колебаниям и искажениям кривой напряжения питающей сети, причем последнее существенно сказывается на ухудшении ВАХ; худшие, чем у двигателей постоянного тока, ВАХ; низкие пусковые характеристики (для АД нормального исполнения). Но можно с уверенностью предположить, что и в будущем в основе нерегулируемого (по частоте вращения) электропривода останется по-прежнему АД с простейшими средствами управления.

батарей. По этой причине электроприводы для вспомогательных механизмов приходилось выбирать с большим запасом по мощности, из-за чего в основных режимах эксплуатации они оказывались недогруженными и работали с невысокой эффективностью (коэффициент использования 0,3—0,4).

Важно отметить, что питание электропривода постоянным током имеет, с точки зрения уровней ВАХ и КПД, предпочтение перед питающей бортовой сетью переменного тока, так как сужает электромагнитный спектр вследствие исключения из состава электропривода индивидуального выпрямителя и вызываемых его работой пульсаций напряжения и соответствующих потерь энергии.

С учетом условий экономичности, возможности питания разного рода током и повышенных требований в части эксплуатационных, массогабаритных и виброакустических

ли с постоянными магнитами (ВДПМ) и реактивные двигатели (РИД) индукторного типа (табл. 1, 2).

Вентильный двигатель представляет собой систему, в которой объединены бесконтактная электрическая машина с обмоткой якоря на статоре и магнитными полюсами на роторе и полупроводниковый управляемый инвертор, обеспечивающий при движении ротора синхронную с его движением коммутацию тока в якорной обмотке.

Бесконтактные электрические машины по способу создания магнитных полюсов на роторе могут иметь различные варианты, но наибольший интерес представляет ВДПМ. По принципу действия и устройству якоря с коллектором ВДПМ не отличаются от ДПТ с электромагнитным возбуждением. Различие заключается в устройстве неподвижных магнитных систем, включающих в себя постоянные магниты, создающие исходное магнитное поле.

В вентильном двигателе отсутствуют пульсации электромагнитного момента, вызываемые в АД асимметрией напряжения и тока по фазам. Пульсации электромагнитного момента, вызываемые работой коммутатора, можно уменьшить по амплитуде и увеличить по частоте, что улучшает спектрограмму вибрации двигателя и позволяет эффективно использовать систему амортизации.

Моменты «залипания» между индуктором и якорем, вызванные зубцовой структурой якоря, можно существенно уменьшить за счет повышенного рабочего зазора при использовании высокоэнергетических магнитов, при этом уменьшается и влияние технологических отклонений.

Обеспечение повышенного рабочего зазора открывает возможность применения амортизированных узлов с повышенной податливостью и позволяет уменьшить подшипниковые вибрации.

Таким образом, ВДПМ имеет следующие преимущества: отсутствие потерь на возбуждение; повышенное сопротивление к высшим гармоникам; высокие перегрузочную способность и пусковой момент; хорошие массогабаритные показатели и управляемость; высокий КПД; облегченные условия охлаждения. К недостаткам относятся высокая стоимость и технологические трудности

Таблица 2

**Энергетические и массогабаритные показатели приводов**

Показатель	ДПТ	АД	ВДПМ	РИД
Мощность, кВт	5,5	5,0	3,0	5,5
Удельный объем, дм <sup>3</sup> /кВт	18	17,5	14	12
Удельная масса, кг/кВт	28	30	24	20
КПД, %	80	82	89	90

Для современных ПЛ требуется в основном регулируемый электропривод. На ПЛ работа привода постоянного тока осложняется колебаниями напряжения аккумуляторной

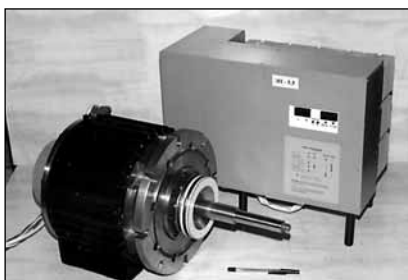
характеристик в настоящее время из перспективных направлений развития регулируемого электропривода применительно к заказам ВМФ можно выделить вентильные двигатели

сти при изготовлении постоянных магнитов.

ВДПМ представляется наиболее перспективным для создания систем электродвижения, обеспечивающих все требуемые режимы движения ПЛ: пуск, ход, реверс, торможение во всем рабочем диапазоне частот вращения при сохранении высокого КПД.

РИД не имеет обмотки возбуждения на роторе явно полюсного исполнения (рисунок). Вращающий момент создается за счет разности магнитных проводимостей ротора по продольной и поперечной осям: явно выраженные полюсы ротора стремятся занять положение, при котором магнитное сопротивление для потока является минимальным. При этом появляются тангенциальные силы и момент, вращающий ротор синхронно с полем.

Считалось, что сфера применения РИД ограничивается низкими частотами вращения. Создание высокоэффективных электроприводов,



Реактивный индукторный двигатель

рассчитанных на различные мощности и частоты вращения, на основе предельно простого по конструкции электромеханического преобразователя (отсутствие обмоток на шихтованом зубчатом роторе при простых сосредоточенных обмотках на статоре) стало возможным в связи со значительными успехами в развитии силовой полупроводниковой техники и наличием быстродействующих микропроцессорных средств управления. В результате в РИД возможно регулировать частоту вращения в широких пределах и получать тяговую круто падающую механическую хара-

ктеристику, что являлось основным положительным свойством коллекторных машин. Это обеспечивает высокую устойчивость работы привода, его защиту от перегрузок по мощности и значительный пусковой момент, плавность переходных процессов.

Силовой коммутатор питает обмотки статора однополярными импульсами тока, в силу чего исключается возможность внутреннего короткого замыкания. Следует учитывать, что кажущаяся простота конструкции и схем управления не упрощает собственно разработку этого перспективного привода.

Таким образом, РИД лишен всех недостатков коллекторных и асинхронных машин, его отличают существенные достоинства: простота конструкции, малая трудоемкость изготовления; высочайшая надежность; низкая себестоимость; высокий КПД в широком диапазоне частот вращения; нечувствительность к повреждениям обмоток; хорошие массогабаритные показатели.

## «VIRGINIA» — ВМЕСТО ИЛИ ВМЕСТЕ С «SEAWOLF»?

Л. Ю. Худяков, докт. техн. наук, проф.  
(1 ЦНИИ МО РФ)

УДК 629.827.001.36

Известно, что в связи с изменениями военно-политической обстановки в мире после 1991 г. в США принято решение откорректировать перспективные планы военного кораблестроения в сторону некоторого сокращения ВМС, расходов на их содержание и пополнение новыми кораблями. Одним из проявлений этого стал отказ от серийного строительства еще недавно широко рекламировавшихся (как подводные лодки XXI века) атомных подводных лодок (АПЛ) типа «Seawolf» (SSN-21), созданных в рамках принятой в США морской стратегии «передовых рубежей» для блокады советского ВМФ в его прибрежных водах и баз, а также действий против советских стратегических подводных ракетноносцев. В частности, решено ограничиться только тремя лодками типа «Seawolf», а для серийного строительства принять новую многоцелевую АПЛ, более дешевую в строительстве и эксплуатации и, одновременно, более приспособленную к изменившимся боевым задачам и условиям ведения боевых действий.

Новая АПЛ, первоначально фигурировавшая под названием «Centurion» (NSSL), получила название «Virginia» (SSN-774) и представляет собой дальнейшее развитие построенных большой серией АПЛ типа «Los Angeles» (SSN-688), а точнее, их последней улучшенной (I — improved) модификации — АПЛ типа «San Juan» (SSN-688I), о чем можно судить по данным табл. 1.

Главное отличие «Virginia» от существующего сегодня «Seawolf» заключается в наличии 12 вертикально расположенных вне прочного корпуса в носовой части лодки пусковых установок (ВПУ) для крылатых ракет «Tomahawk» при уменьшенном в два раза числе торпедных аппаратов (общее количество единиц оружия уменьшено на 25%), меньшей скорости полного подводного хода (на 5 уз) и сниженной предельной глубине погружения (с 600 до ок. 500 м).

По мнению американских специалистов, при серийном строительстве АПЛ типа «Virginia» будет иметь преимущество перед «Seawolf» в военно-эконо-

мическом отношении (по критериям «эффективность/стоимость»).

В то же время решение об отказе от дальнейшего строительства многоцелевых АПЛ на базе проекта «Seawolf» и соответственно о прекращении на строительство лодок типа «Virginia» продолжает обсуждаться в США, о чем свидетельствует опубликованная в декабрьском номере журнала «U. S. Naval Institute Proceedings» за 1998 г. (с. 68—71) статья Георгия Святюва, посвященная этому вопросу<sup>1</sup>. По существу, содержание этой статьи сводится к мнению (или предложению) о возможности и целесообразности сохранения в программе кораблестроения США, наряду с «Virginia», АПЛ типа «Seawolf» в одном из модифицированных вариантов, которым дается обозначение SSN-21I. При этом утверждается, что последние могут строиться в меньшем количестве, чем «Virginia».

Основным элементом модификации является довооружение АПЛ типа «Seawolf» ВПУ для крылатых ракет «Tomahawk», так как в настоящее время с этих лодок может быть обеспечен (из ТА) только 6—8-ракетный залп «Tomahawk» (6 ракет — когда в двух ТА должно постоянно находиться оружие самообороны), а для «Los Angeles» (SSN-688I) и «Virginia» число ракет в одном залпе может составлять 14—16 (12 из ВПУ, остальные — из ТА). Увеличение числа ракет в одном залпе имеет суще-

<sup>1</sup>George Sviatov. «Fleet of Modified Seawolfs & Virginias Makes Sense». Г. И. Святюв в 1954 г. закончил ВВМИУ им. Ф. Э. Дзержинского, после чего некоторое время проходил службу в органах кораблестроения ВМФ. В настоящее время проживает в США, работая вашингтонским директором компании «Трансокеаник», планирующей открытие морской пассажирской линии между Нью-Йорком и Санкт-Петербургом.

Таблица 1  
Основные тактико-технические элементы атомных многоцелевых подводных лодок ВМС США<sup>1</sup>

Тип АПЛ	«San Juan» SSN-6881	«Virginia» SSN-774	«Seawolf»	
			SSN-21	SSN-21IM
Водоизмещение, т:				
нормальное	6000	Ок. 6700	Ок. 7500	Ок. 7900
полное подводное <sup>2</sup>	6930	Ок. 7700	9137	Ок. 9500
Длина, м	110	115	108	111
Ширина, м	10,1	10,3	12,2	12,2
Энергоустановка: количество гребных валов х мощность, л. с.	1x35 000	1x40 000	1x60 000	
Скорость полного подводного хода, уз	32—33	Ок. 35	40	
Предельная глубина погружения, м	500		600	
Количество ТА х калибр, мм	4x533		8x660	12x533
Количество ПУ для крылатых ракет (кроме ТА)	12		—	32
Общее количество единиц оружия <sup>3</sup>	38 (26)		50	100 (68)

Примечания: 1. Данные по справочнику «Jane's Fighting Ships» (1998—1999 гг.) и по статье Г. И. Святова; 2. Для АПЛ США нормальное водоизмещение приближенно определено делением полного подводного водоизмещения на коэффициент 1,15—1,20, однако возможно, что в таблице приведены значения подводного, а не полного подводного водоизмещения; 3. В скобках приведено количество единиц оружия, используемого из торпедных аппаратов.

ственное значение для преодоления ими противоракетной обороны.

В статье Г. И. Святова в качестве основного варианта модификации предлагается установить на «Seawolf» 16 ВПУ для крылатых ракет «Tomahawk» вне прочного корпуса (как это сделано на «Los Angeles» и предусматривается на «Virginia») и еще 16 таких же ВПУ, врезанных в прочный корпус в средней части корабля (за ограждением рубки), при увеличении его длины на 10 футов (ок. 3 м) и водоизмещения на 350 т. Если дополнительно учесть предлагаемую замену 8 ТА х 660 мм на 12 ТА х 533 мм, то число пусковых установок в проекте SSN-21I увеличится до 44, а общее количество ракетного и торпедного оружия предполагается довести до 100 ед., увеличив его вдвое по отношению к проекту SSN-21. В дальнейшем обозначим такой вариант «Seawolf» как SSN-21IM (М — «максимальный»)<sup>1</sup>.

По общему количеству пусковых установок для использования всех видов оружия, приходящемуся на 1000 т водоизмещения, SSN-21IM в пять раз превосходит «Seawolf» (SSN-21) и в два раза подводные лодки «San Juan» и «Virginia» (табл. 1). Аналогичный показатель для общего боекомплекта всех видов оружия у SSN-21IM в два раза выше, чем у остальных рассматриваемых здесь АПЛ.

По мнению Г. И. Святова, модифицированный «Seawolf» (SSN-21IM) будет превосходить по «боевой мощи» «Virginia» в 5—6 раз, что обеспечит пре-

имущество в военно-экономическом отношении и, в свою очередь, даст основание для сохранения SSN-21IM в программе кораблестроения. В этом плане приведена даже аналогия с надводными кораблями: SSN-21IM называется «настоящим подводным крейсером», а «Virginia» — «более дешевым подводным эсминцем».

Необходимость развития программы SSN-6881 автор комментируемой статьи обосновывает только большим водоизмещением существующих российских АПЛ пр. 971 и еще большим водоизмещением строящихся лодок типа «Северодвинск». Из этого можно предположить, что, по мнению Г. И. Святова, меньшее водоизмещение АПЛ типа «Virginia» может дать заметное превосходство в противолодочных действиях против российских многоцелевых АПЛ, в чем можно сильно сомневаться. Применительно к SSN-21IM отмечено, что эти лодки «должны быть оснащены системами обычного и ядерного оружия для действия в зонах крупных и более мелких региональных конфликтов...».

Оставляя пока в стороне обсуждение вопросов тактического и военно-экономического плана, отметим, что в статье Г. И. Святова, в отличие от последнего издания широко известного справочника «Jane's Fighting Ships» (1998—1999 гг.), для «Seawolf» и «Virginia» приведены данные по скоростям полного подводного хода, которые согласуются с мощностью энергоустановок, водоизмещением и главными размерениями

этих лодок (см. табл. 1). Действительно, скорости 38,5—40 уз для «Seawolf» и 34—35 уз для «Virginia» могут быть получены при технически реальных значениях коэффициента полного сопротивления движению ( $\zeta \times 10^3 \approx 2,65—2,70$ ) и пропульсивного коэффициента ( $\eta \approx 0,80—0,85$ ).

В этом можно убедиться, если воспользоваться приведенными в табл. 1 значениями полного подводного водоизмещения  $V$  (м<sup>3</sup>)<sup>2</sup>, мощности энергоустановок на гребном валу  $N_e$  (л. с.), длины корпуса  $L$  (м), его диаметра  $B$  (м) и применить известные формулы для определения скорости хода  $v_s$  (уз):

$$v_s = 2,21 \left( \frac{N_e \eta \pi B}{\zeta \omega V^{2/3}} \right)^{1/3}; \quad (1)$$

$$\omega \approx 5,60 + 0,26 L/B, \quad (2)$$

где  $\eta_B$  — КПД линии гребного вала (ок. 0,98).

Дополнительно необходимо учесть, что формула (2) может давать несколько завышенное (приблизительно на 5%) значение относительной поверхности наружного корпуса  $\omega$  (без выступающих частей), и в формуле (1), строго говоря, в качестве  $V$  необходимо принимать объем корпуса без выступающих частей. Этот объем, хотя и незначительно, но меньше полного подводного водоизмещения.

Для специалистов представляет интерес и ряд других приведенных в комментируемой статье сведений, относящихся к АПЛ «Virginia», а именно:

возможность (в будущем) оснащения лодки высокоэффективной тактической ракетной системой для поражения наземных целей с дальностью стрельбы 160 миль;

наличие шлюзовой камеры, позволяющей использовать современную систему доставки боевых пловцов, а также спецназа (специальное оборудование для них размещается в палубном контейнере). Здесь можно отметить, что США вообще придают большое значение разведывательным и разведывательно-диверсионным действиям своих АПЛ. В статье Г. И. Святова при перечислении боевых задач «Virginia» ведение скрытной разведки стоит на первом месте;

применение в составе энергоустановки ядерного реактора, не требующего перезарядки активной зоны в течение всего запланированного срока службы АПЛ, и сокращение продолжительности капитальных ремонтов, что обеспечивает длительное нахождение лодки в составе действующих сил (ок. 94,5%, что на

<sup>1</sup> Введение индекса «М» связано с тем, что Г. И. Святов упоминает и «усеченный» вариант: размещение только 16 ВПУ в носовой части корабля (вне прочного корпуса) при сохранении 8 ТА с боекомплектом 50 ед. В дальнейшем этот вариант обозначим SSN-21IY.

<sup>2</sup> Современные атомные ПЛ ВМС США имеют «классическую» однокорпусную архитектуру, практически без надстройки, в силу чего объем проливаемых частей является минимально возможным; значения подводного и полного подводного водоизмещения близки.

1,5% выше, чем у АПЛ «San Juan») и уменьшает затраты на эксплуатацию АПЛ;

повышение уровня автоматизации управления оружием, вооружением и техническими средствами, позволяющее сократить численность вахты по сравнению с «Seawolf» на 15 чел. и иметь относительную численность экипажа, приходящуюся на 1000 т водоизмещения, 17 чел. (на АПЛ «Sturgeon» — 28 чел., на «Los Angeles» — 18 чел.);

применение с целью уменьшения стоимости строительства АПЛ имеющейся в наличии техники, уменьшение на 60–70% вновь разрабатываемого программного обеспечения, сокращение стоимости разработки материальных средств (на 70–80%), а также системы обеспечения (в 4 раза).

В качестве недостатков «Virginia» по сравнению с «Seawolf» отмечается более высокий уровень подводной шумности (конкретные данные не приведены) и меньшие модернизационные возможности. О возврате на «Virginia» к калибру торпедных аппаратов 533 мм в комментируемой статье конкретно ничего не сказано, хотя упомянуто, что применение на «Seawolf» калибра 660 мм связано с уменьшением шумности при торпедной стрельбе. Отмечая этот факт, Г. И. Святов все же предлагает на модернизированном «Seawolf» (SSN-21 IM) разместить 12 ТА x 533 мм, хотя не исключает и возможности сохранения 8 ТА x 660 мм.

**Соотношение между показателем боевой эффективности «Virginia» и SSN-21 IM (SSN-21 M).** Попробуем прокомментировать статью Г. И. Святова и в данном отношении, полагая при этом, что применяемый им термин «capabilities» (боевые способности) аналогичен нашему понятию боевой эффективности.

Потенциальные боевые возможности главным образом определяются качественным и количественным составом оружия, т. е. типами (образцами) этого оружия, количеством пусковых установок (ПУ) для его использования и имеющимися на борту боекомплектами.

В том случае, когда сравниваются корабли, оснащенные одними и теми же типами оружия, как это имеет место для многоцелевых лодок ВМС США, остаются только количество ПУ и соответствующие боекомплекты. Используя специальные приемы и методы, можно получить интегральный показатель боевого потенциала ( $\Pi_1$ ) одиночного корабля, который будет некоторой функцией от количества ПУ и боекомплектов:

$$\Pi_1 = f(m_i, M_i); \quad i = 1, \dots, n, \quad (3)$$

где  $M_i$  — боекомплект  $i$ -го типа оружия;  $m_i$  — количество соответствующих ПУ.

Коэффициент реализации потенциала  $\Pi_1$  зависит от многих факторов,



Спуск на воду атомной подводной лодки «Providence» — первой лодки типа «Los Angeles» с вертикальными пусковыми установками для крылатых ракет «Tomahawk», 1984 г.

среди которых присутствуют как тактико-технические характеристики корабля, включая указанные выше величины  $m_i$  и  $M_i$ , так и внешние параметры, характеризующие условия ведения боевых действий.

В общем случае коэффициент реализации можно представить в виде произведения показателя (коэффициента) боевой устойчивости корабля ( $0 \leq k_{\text{бу}} \leq 1$ ) и коэффициента оперативного использования ( $0 \leq k_{\text{ои}} \leq 1$ ), характеризующего предельно возможную интенсивность ведения боевых действий (в том числе боевой службы) кораблем. Для АПЛ боевая устойчивость определяется в первую очередь скрытностью действий, а во вторую — наличием и эффективностью оружия и средств самообороны. На подводных лодках ВМС США в качестве оружия самообороны используются торпеды Mk-48 (против подводных лодок и надводных кораблей) и крылатые ракеты «Harpoon» (против надводных кораблей). Это оружие, как и ударные (наступательные) крылатые ракеты «Tomahawk», может использоваться из торпедных аппаратов. Естественно, что приведенное выше разделение оружия на оборонительное и наступательное носит условный характер, поскольку ракеты «Harpoon» и торпеды Mk-48 могут применяться и в наступательных действиях.

Таким образом, показатель боевой эффективности ( $\Xi_1$ ) одиночного корабля можно представить в виде:

$$\Xi_1 = \Pi_1 k_{\text{ои}} k_{\text{бу}}. \quad (4)$$

В тех случаях, когда рассматривается использование  $N$  однотипных кораблей, их суммарную боевую эффективность  $\Xi(N)$  часто можно представить (особенно для АПЛ) выражением:

$$\Xi(N) = N \Pi_1 k_{\text{ои}} k_{\text{бу}}(N), \quad (5)$$

в котором учтено, что величина  $k_{\text{бу}}$  для каждого из действующих кораблей может зависеть от  $N$ .

Можно показать, что при фиксированном суммарном потенциале противодействия противника и действиях всех АПЛ (независимо от их числа) в районах с одной и той же суммарной площадью величина  $k_{\text{бу}}$  может считаться не зависящей от числа лодок  $N$ . Наоборот, если с ростом  $N$  суммарная площадь районов увеличивается, то величина  $k_{\text{бу}}$  для каждой из действующих лодок возрастает, что обусловлено необходимостью распределения одного и того же суммарного потенциала противодействия на большей площади поиска.

Обратимся теперь к приведенной Г. И. Святовым оценке превосходства SSN-21 IM над «Virginia» по боевой эффективности в 5–6 раз. Используя данные табл. 1, можно установить, что по суммарному боекомплекту оружия и суммарному количеству пусковых установок (ВПУ и ТА) три АПЛ типа «Virginia» эквивалентны и даже приблизительно на 10% превосходят одну лодку типа SSN-21 IM, а если рассматривать вариант SSN-21 IU, то две лодки типа «Virginia» имеют превосходство по числу ПУ в 1,3 раза и по общему боекомплекту оружия в 1,15 раза. Отсюда следует, что по потенциальной эффективности ударов ракетами «Tomahawk» (особенно по наземным целям) три тактически взаимодействующие АПЛ типа «Virginia» эквивалентны (при любом требуемом числе ракет в залпе, вплоть до 44 ед., обеспечиваемых на SSN-21 IM) одной АПЛ типа SSN-21 IM, и при одиночном сравнении преимущество последней примерно трехкратное. Такое же превосходство SSN-21 IM будет иметь и по потенциальным возможностям в противолодочных действиях с учетом того, что при высокой эффективности современного противолодочного оружия подводные лодки в каждой из атак или при самообороне используют в большинстве случаев не более двух торпед в залпе и практически осуществляют при этом не более двух залпов.

Таким образом, для того, чтобы превосходство АПЛ типа SSN-21 IM над АПЛ «Virginia» возросло до 5–6 раз, первая из этих лодок должна иметь (в формуле (5)) в 1,7–2 раза большее значение произведения  $k_{\text{ои}} k_{\text{бу}}$ , причем для «Virginia» величина  $k_{\text{бу}}$  должна определяться с учетом одновременного ис-



Строительство атомной подводной лодки «Seawolf» на верфи «Electric Boat» в Гротоне

пользования трех лодок этого типа. Полагая значения  $k_{oi}$  одинаковыми, хотя для «Virginia» этот коэффициент может быть несколько выше (ядерный реактор без перезарядки активной зоны, сокращение продолжительности капитальных ремонтов), получаем, что АПЛ типа SSN-21M должна иметь в 1,7–2 раза более высокую боевую устойчивость. Это, в свою очередь, означает что величина  $k_{bu}$  для «Virginia» теоретически не может быть более 0,5–0,6.

Ни превосходство АПЛ типа SSN-21M в скорости полного подводного хода (35–40 уз), предельной глубине погружения (500–600 м), количестве торпедных аппаратов (даже в три раза), ни, наконец, упоминаемое Г. И. Святовым (без указания конкретных цифр) преимущество в уровнях подводной шумности не могут, на наш взгляд, объяснить столь значительный рост боевой устойчивости SSN-21M при нанесении ударов ракетами «Tomahawk» и в противолодочных действиях, т. е. при решении главных задач. Практически единственной ситуацией, в которой может проявить себя в три раза большее количество ТА у SSN-21M, является самооборона одиночной лодки от поисково-ударных групп надводных кораблей с использованием тактических ракет «Harpoon» и торпед. Это относится и к варианту SSN-21Y, у которого вдвое большее количество ТА. Наиболее реально эта ситуация может складываться при решении разведывательно-диверсионных задач.

Не хочется думать, что приводимая Г. И. Святовым оценка преимущества SSN-21M по «боевой мощи» в 5–6 раз (по сравнению с «Virginia») получена пу-

тем сложения отношений суммарного количества единиц оружия и суммарного числа ПУ для его использования, а именно:  $100/38+44/16 = 5,4$ . Такой подход является совершенно не корректным, хотя он и напоминает так называемый метод аддитивных сверток основных тактико-технических элементов, который иногда применяется при сравнительной оценке боевой эффективности кораблей и основывается на введении понятия «идеального корабля» и показателя, оценивающего для каждого из сравниваемых кораблей относительную близость к «идеальному кораблю». В случае применения такого метода превосходство АПЛ типа SSN-21M над «Virginia» может находиться в пределах 2,75–3 раз.

Таким образом, с учетом боевой устойчивости наибольшее относительное преимущество SSN-21M будет в дальнейшем приниматься четырехкратным, а наименьшее — трехкратным.

**Сравнительная военно-экономическая оценка АПЛ «Virginia» и SSN-21M по среднеожидаемому реализуемому боевому потенциалу.** Для того, чтобы сравнить подводные лодки SSN-21M и «Virginia» в военно-экономическом отношении, необходимо иметь данные по стоимости создания и содержания (эксплуатации) этих лодок. В комментируемой статье Г. И. Святова на этот счет приведены только следующие сведения: средняя стоимость каждой из первых четырех АПЛ типа «Virginia» — 2,6 млрд дол., пятой и каждой последующей — 1,65 млрд дол.; средняя стоимость каждой из первых четырех АПЛ типа SSN-21M (при сдаче одной лодки каждые три года) — 2,5 млрд дол. О стоимости содержания

лодок ничего не говорится. Но без сомнения, для «Virginia» эта стоимость должна быть заметно меньше. С учетом этого обстоятельства преимущество «Virginia» перед SSN-21M и SSN-21Y по стоимости строительства и содержания можно оценить как двухкратное<sup>1</sup>. Отсюда следует вывод, что вариант SSN-21Y не имеет преимуществ, а, скорее всего, уступает «Virginia» в военно-экономическом отношении (по критерию «эффективность/стоимость»). Видимо поэтому Г. И. Святов и «довооружает» этот вариант еще 16 ВПУ и «заменяет» 8 ТА x 660 мм на 12 ТА x 533 мм.

Что касается SSN-21M, то по критерию «эффективность/стоимость» эта лодка с формальной точки зрения имеет преимущество перед «Virginia» в 1,5–2 раза, т. е. при использовании показателя эффективности всей группировки лодок (5) и любом бюджете S, выделяемом на создание и содержание группировки, целесообразно строительство только лодок SSN-21M. Любая «смесь» SSN-21M и «Virginia» будет проигрывать этому решению в военно-экономическом отношении, опять-таки имея в виду принятый показатель боевой эффективности (5) и прямо пропорциональную зависимость стоимости создания и содержания группировки от числа входящих в нее АПЛ.

Однако приведенный выше результат не учитывает самостоятельную роль численности группировки многоцелевых АПЛ. При одном и том же бюджете число лодок SSN-21M в группировке будет в два раза меньше по сравнению с «Virginia». Такое уменьшение числа АПЛ при относительно небольшом бюджете может оказаться неприемлемым, исходя из необходимости военного присутствия и (или) ведения боевых действий на различных разобщенных морских театрах и (или) в различных удаленных друг от друга районах.

Действительно, ВМС США планируют к 2020 г. иметь 30 лодок типа «Virginia» (например, по 15 ед. на атлантическом и тихоокеанском направлениях)<sup>2</sup>. При сохранении тех же затрат и строительстве лодок SSN-21M общая численность сократится до 15 ед., т. е. по 7–8 лодок на каждом из указанных выше направлений, и хотя по суммарной боевой эффективности, определяемой выражением  $\Xi = \Pi_1 k_{oi} k_{bu} S/s_1$  (где  $s_1$  — стоимость создания и содержания одной лодки), 15 лодок SSN-21M превосходят эквивалентную по стоимости группировку из 30 лодок «Virginia» в 1,5–2 раза, наличие только 15 лодок, исходя из приведенных

<sup>1</sup> Эта эвристическая оценка автора данных комментариев основана на приведенных в статье Г. И. Святова технических особенностях «Virginia», о которых было сказано выше. Кроме того, в общем случае необходимо учитывать и разницу (примерно в 2,5 раза) в стоимости боекомплекта оружия, хотя это обычно не делается.

<sup>2</sup> Всего к 2020 г. в ВМС США планируется иметь около 50 многоцелевых АПЛ: 3 — типа «Seawolf», до 30 типа «Virginia» и около 17 типа «San Juan». ВМС планируют закупить четыре лодки типа «Virginia» до конца 2002 г. и с 2007 г. ежегодно приобретать по 2–3 такие лодки, поддерживая численность группировки 50 ед. (данные из статьи Г. И. Святова).

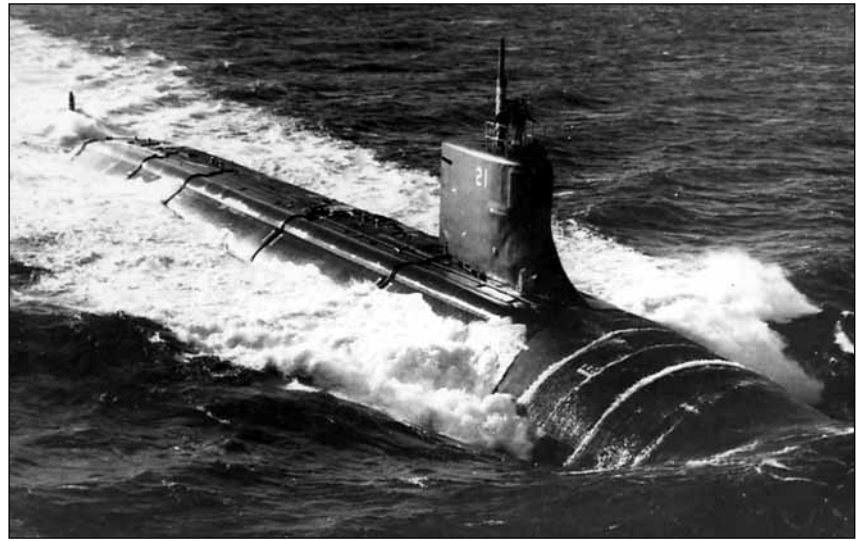
выше соображений, может оказаться недостаточным. Это же относится и к сравнению планируемой после 2020 г. группировки из 50 лодок типа «Virginia» с эквивалентной по стоимости 25-лодочной группировкой SSN-21IM.

**Сравнительная военно-экономическая оценка АПЛ «Virginia» и SSN-21IM по вероятности реализации требуемого значения боевого потенциала.** Теоретически могут сложиться условия, при которых целесообразной оказывается программа одновременного создания АПЛ с различными показателями военно-экономической эффективности. Если рассматривать АПЛ только двух типов, то «смешанную» стратегию часто формулируют в виде тезиса: «небольшое число высокоэффективных и дорогих кораблей плюс большее количество менее эффективных, но более дешевых кораблей». Именно такой подход предлагается в комментируемой статье.

В дальнейших рассуждениях по данному вопросу используется довольно старая статья, опубликованная в журнале «Naval Research Logistic Quarterly», 1954, N 2, (p. 116—140) — Marshac J., Mickey M. «Optimal weapon system». При этом с учетом приведенных выше данных по соотношению боевой эффективности и экономических показателей будет использоваться допущение, что при любом числе создаваемых лодок (в том числе и при организации соответствующих однотипных группировок) суммарная стоимость создания и содержания группировки равна  $n_1 s_1 + n_2 s_2$  (где  $n_1, n_2$  — число создаваемых лодок типов «Virginia» и SSN-21IM, соответственно;  $s_1, s_2$  — стоимость создания и содержания одной серийной лодки).

Сразу укажем на то, что в рассмотренной ниже постановке задачи военно-экономической оптимизации состава группировки условия целесообразности «смешанной» стратегии не выполняются, т. е. во всех представляющих практический интерес случаях целесообразной оказывается одна из однотипных группировок, причем не обязательно из лодок SSN-21IM.

Итак, предположим, что некоторый фиксированный бюджет  $S$  может произвольно распределяться на создание и содержание рассматриваемых АПЛ, боевые потенциалы которых с учетом одинаковых и детерминированных значений  $k_{0i}$  обозначим через  $\Pi_{11}$  («Virginia») и  $\Pi_{12}$  (SSN-21IM), а коэффициенты их боевой устойчивости (величины  $k_{6j}$ ) — через  $p_1$  и  $p_2$ , рассматриваемые как соответствующие вероятности. Будем считать, что вся группировка (независимо от ее численности) действует в районе одной и той же суммарной площади, что, как уже упоминалось ранее, позволяет считать величины  $p_1$  и  $p_2$  не зависящими от численности группиро-



Атомная подводная лодка «Seawolf»

вок. Для суммарного боевого потенциала группировки будем использовать выражение:

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_{11} n_1 + \Pi_{12} n_2 \quad (6)$$

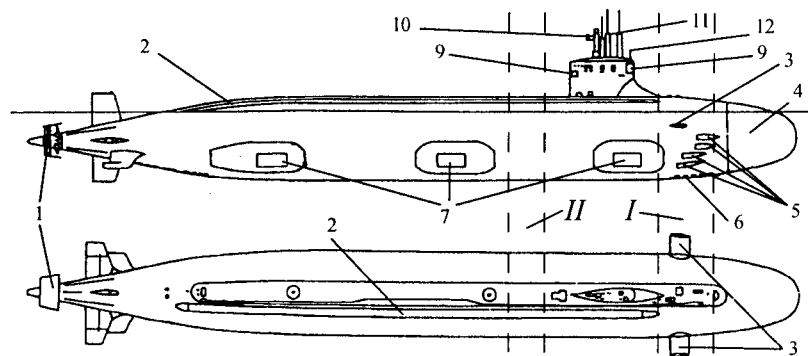
Ввиду наличия вероятностей  $p_1$  и  $p_2$ , суммарный реализуемый боевой потенциал будет случайной величиной ( $Y$ ). Если отдельные АПЛ действуют независимо друг от друга и общая численность ( $n_1 + n_2$ ) группировки достаточно велика (соответственно, достаточно велик бюджет  $S$ ), то в большинстве случаев величину  $Y$  можно считать распределенной по нормальному закону с математичес-

ким ожиданием ( $EY$ ) и дисперсией ( $DY$ ), определяемыми выражениями:

$$EY = \Pi_{11} p_1 \frac{S}{s_1} (1-x) + \Pi_{12} p_2 \frac{S}{s_2} x \quad (7)$$

$$DY = \Pi_{11}^2 p_1 q_1 \frac{S}{s_1} (1-x) + \Pi_{12}^2 p_2 q_2 \frac{S}{s_2} x$$

где  $0 \leq x \leq 1$  — доля бюджета  $S$ , выделяемая на подводные лодки типа SSN-21IM;  $q_i = 1 - p_i, i = 1, 2$ . Обратим внимание на



Схематичный внешний вид атомной лодки «Seawolf»:

- 1 — водометный двигатель («pump-jet»);
  - 2 — обтекатель гибкой буксируемой антенны ГАК;
  - 3 — убирающиеся носовые горизонтальные рули;
  - 4 — обтекатель носовой антенны ГАК;
  - 5 — волнорезные щиты ТА (по 4 с каждого борта);
  - 6 — низкочастотный гидрофон; 7 — бортовые антенны ГАК; 8 — стабилизатор постановки и выборки буксируемой антенны;
  - 9 — высокочастотный гидрофон; 10 — выдвижная шахта РДП с антенной РЛС; 11 — перископы и антенны;
  - 12 — убирающаяся антенна навигационной РЛС.
- I, II — районы размещения ВПУ для ракет «Tomahawk» по предложению Г. И. Святова (в районе II — за счет удлинения корпуса на ок. 3 м)

то, что величины  $S/s_i$  представляют собой численности соответствующих однотипных группировок.

Наконец, предположим, что необходимо обязательно достичь некоторого заданного значения  $y_0$  случайной величины  $Y$ , т. е. суммарного реализуемого боевого потенциала, причем в случае

где  $q_1 = 1 - p_1$ ;  $q_2 = 1 - 1,33p_1$  и вероятность  $p_1$  может изменяться в пределах от нуля до 0,752 (верхняя граница этого диапазона определяется физическим условием  $p_2 \leq 1$ ).

В зависимости от  $p_1$  величина  $b_2/b_1$  принимает следующие значения:

$p_1$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,71	0,72	0,73	0,74	0,75
$b_2/b_1$	5,78	5,51	5,15	4,68	4,02	3,03	1,38	1,14	0,91	0,65	0,37	0,06

$y < y_0$  эффективность группировки равна нулю, а при всех  $y \geq y_0$  эта эффективность, принимаемая условно равной единице, остается неизменной ( $y$  — возможные значения, которые может принимать случайная величина  $Y$ ). Показателем эффективности группировки в этом случае является вероятность  $P\{Y \geq y_0\}$ , которую необходимо максимизировать путем оптимального выбора значения величины  $x$  в интервале  $[0, 1]$ . Показатель  $P\{Y \geq y_0\}$  называется вероятностью решения поставленной боевой задачи.

В математической форме задача оптимизации  $x$  может быть представлена в виде:

$$\max_{0 \leq x \leq 1} \left\{ \frac{a_1 + (a_2 - a_1)x - y_0}{\sqrt{b_1 + (b_2 - b_1)x}} \right\}, \quad (8)$$

где  $a_i = \Pi_{1i} p_i S / s_i$ ;  $b_i = \Pi_{1i}^2 p_i q_i S / s_i$ ;  $i = 1; 2$ .

Очевидно, что в случае, когда максимум целевой функции  $F(x)$  задачи (8) достигается при значении  $x_{\text{опт}}$ , лежащем между нулем и единицей, оптимальным является наличие в составе группировки АПЛ обоих рассматриваемых типов, причем количество лодок каждого из типов определяется величиной  $x_{\text{опт}}$ , а именно:  $S(1 - x_{\text{опт}})/s_1$  — количество лодок типа «Virginia»;  $Sx_{\text{опт}}/s_2$  — количество лодок типа SSN-21IM.

Если окажется, что  $x_{\text{опт}} = 0$ , то целесообразно создавать однотипную группировку из лодок «Virginia» численностью  $S/s_1$ . В случае, когда  $x_{\text{опт}} = 1$ , целесообразна однотипная группировка из лодок SSN-21IM численностью  $S/s_2$ .

Перед тем как перейти к рассмотрению решения задачи (8) применительно к «Virginia» и SSN-21IM, напомним, что в соответствии с ранее приведенными результатами ( $\Pi_{12} = 3\Pi_{11}$ ;  $\Pi_{12}p_2 = 4\Pi_{11}p_1$ ;  $s_2 = 2s_1$ ) имеют место следующие оценки:

$$\frac{a_2}{a_1} = \frac{\Pi_{12}p_2s_1}{\Pi_{11}p_1s_2} = 2,0; \quad p_2 = 1,33p_1; \quad (9)$$

$$\frac{b_2}{b_1} = \frac{\Pi_{12}^2 p_2 q_2 s_1}{\Pi_{11}^2 p_1 q_1 s_2} = 6 \frac{q_2}{q_1},$$

Вычислив производную целевой функции (8) и обозначив  $\Delta a = a_2 - a_1$ ;  $\Delta b = b_2 - b_1$ , получим, что условиями оптимальности смешанной группировки, состоящей из лодок обоих рассматриваемых типов, являются следующие неравенства для производных, вычисленных в точках  $x = 0$  и  $x = 1$ :

$$\frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=0} = \frac{2b_1\Delta a - \Delta b(a_1 - y_0)}{2b_1\sqrt{b_1}} > 0; \quad (10)$$

$$\frac{dF(x)}{dx} \Big|_{x=1} = \frac{2b_2\Delta a - \Delta b(a_2 - y_0)}{2b_2\sqrt{b_2}} < 0, \quad (11)$$

где применительно к рассматриваемому нами случаю имеем:  $a_2 > a_1 > 0$ ; ( $\Delta a > 0$ );  $b_1 > 0$ ;  $b_2 > 0$  и по физическому смыслу  $y_0 > 0$ .

Что касается знаков величин  $\Delta b$  и  $(a_i - y_0)$ , то они могут быть как положительными, так и отрицательными.

Неравенства (10) и (11) могут быть представлены в виде:

$$a_1 - 2b_1 \frac{\Delta a}{\Delta b} < y_0 < a_2 - 2b_2 \frac{\Delta a}{\Delta b}. \quad (12)$$

Довольно просто показать, что при указанных выше знаках величин  $a_i$ ,  $b_i$ ,  $\Delta a$  и  $y_0$  неравенство (12) теоретически может выполняться только при  $\Delta b < 0$ , т. е.  $b_2 < b_1$ , или, что то же самое,  $b_2/b_1 < 1$ . Для этого надо потребовать, чтобы выражение, стоящее в правой части двойного неравенства (12), было положительным и больше соответствующего выражения в левой части этого неравенства.

Учитывая условие  $\Delta b < 0$ , неравенство (12) можно привести к виду:

$$a_2 + 2b_2 \frac{\Delta a}{|\Delta b|} < y_0 < a_1 + 2b_1 \frac{\Delta a}{|\Delta b|}, \quad (13)$$

где  $|\Delta b| = |b_2 - b_1|$  — абсолютное значение разности  $(b_2 - b_1)$ .

Применяя полученные выше результаты при сравнительной оценке АПЛ «Virginia» и SSN-21IM, приходим к следующим выводам.

Во-первых, из условия  $b_2 < b_1$  и табл. 2 следует, что создавать смешанную группировку целесообразно только при идеально высокой степени боевой устойчивости лодок SSN-21IM, а именно при  $p_1 > 0,72$  (точная оценка  $p_1 > 0,716$ ), чему для SSN-21IM соответствует  $p_2 > 0,96$ . Причем и в этом случае все будет зависеть от заданного значения  $y_0$ , которое должно находиться в интервале, определяемом двойным неравенством (13), — величина  $y_0$  должна быть достаточно велика по сравнению с  $a_2$ .

Во-вторых, из неравенства (13) следует, что при наиболее оправданном из общих соображений значении  $y_0 = a_1$  (т. е., когда требуемый уровень решения задачи равен математическому ожиданию реализуемого суммарного боевого потенциала группировкой АПЛ типа «Virginia»), во всех случаях, при любых значениях  $0 < p_1 < 0,75$  целесообразной является однотипная группировка, состоящая из лодок SSN-21IM.

Обратимся теперь к более реальной ситуации, когда  $b_2 > b_1$  и соответственно  $p_1 < 0,716$  (см. табл. 2). В этом случае целесообразной будет однотипная группировка, качественный состав которой (либо лодки «Virginia», либо SSN-21IM) будет зависеть от задаваемого значения  $y_0$ . Условие предпочтительности группировки из лодок SSN-21IM будет неравенство:

$$\frac{a_2 - y_0}{\sqrt{b_2}} > \frac{a_1 - y_0}{\sqrt{b_1}}; \quad (b_2 > b_1). \quad (14)$$

Если выполняется неравенство, обратное (14), то предпочтение будет за группировкой из лодок «Virginia».

Неравенство (14) означает:

$$\bar{y}_0 > \frac{\sqrt{b} - \bar{a}}{\sqrt{b} - 1} = \bar{y}_0^{(*)}, \quad (15)$$

где  $\bar{a} = a_2/a_1$ ;  $\bar{b} = b_2/b_1$ ;  $\bar{y}_0 = y_0/a_1$  и в случае  $\sqrt{\bar{b}} < \bar{a}$  ( $\bar{y}_0^{(*)} < 0$ ) необходимо полагать  $\bar{y}_0^{(*)} = 0$ .

Используя приведенную выше оценку  $\bar{a} = 2$  и данные табл. 2, получаем следующую зависимость  $\bar{y}_0^{(*)}$  от  $p_1$  (в пределах  $0,1 < p_1 < 0,716$ ):

$p_1$	0,1	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5-0,716
$(p_2)$	(0,13)	(0,27)	(0,40)	(0,53)	(0,60)	(0,67-0,95)
$y_0^{(*)}$	0,286	0,259	0,213	0,138	0,085	0

Эти результаты показывают, что при реальных значениях  $0,5 < p_1 < 0,716$ , чему соответствует  $0,66 < p_2 < 0,952$ , и любых  $y_0 > 0$ , целесообразной (вне зависимости от выделяемого бюджета  $S$ ) является однотипная группировка из лодок SSN-21IM. Однотипная группировка из лодок «Virginia» будет иметь предпочтение при  $p_1 < 0,5$  и  $\bar{y}_0 < \bar{y}_0^{(*)}$ , где  $\bar{y}_0^{(*)}$  зависит от значения  $p_1$ . Величина  $y_0$  возрастает при уменьшении  $p_1$ , и в пределе (при  $p_1 \rightarrow 0$ )  $\bar{y}_0^{(*)} = 0,310$ .

Уменьшению вероятностей  $p_1$  и  $p_2 = 1,33p_1$  соответствует рост противодействия со стороны противника. Если это противодействие достаточно велико, то по американскому образному выражению неразумно транспортировать «слишком много яиц в одной корзине».

Хотя снижение показателя  $k_{\text{дл}}, k_{\text{бу}}$  для «Virginia» до значений менее 0,5, когда при достаточно малом объеме поставленной боевой задачи (малом значении  $y_0$ ) предпочтение будет иметь однотипная группировка из таких подводных лодок, маловероятно, однако теоретически подобные условия существуют.

**Выводы.** 1. АПЛ типа «Virginia» являются дальнейшим техническим развитием АПЛ типа «Los Angeles» (SSN-688I). По тактическим элементам эти лодки практически одинаковы.

2. Основным недостатком АПЛ типа «Seawolf» (SSN-21) в современных условиях является отсутствие специальных

ПУ для использования «Tomahawk» и, как следствие, недостаточное количество этих ракет в одном зале (не более 6–8), что снижает эффективность преодоления системы противоракетной обороны поражаемых объектов.

3. В комментируемой статье Г. И. Святова данный недостаток предлагается устранить путем разработки проекта и строительства, наряду с лодками «Virginia», модифицированного «Seawolf» (SSN-21IM). Модификация предполагает размещение 32 ВПУ для ракет «Tomahawk», замену 8 ТА x 660 мм на 12 ТА x 533 мм и доведение общего количества оружия до 100 ед. (двукратное увеличение по сравнению с SSN-21).

4. Г. И. Святовым завышено превосходство SSN-21IM над «Virginia» по «боевой мощи» (боевой эффективности). Реально это превосходство можно оценить не в 5–6, а только в 3–4 раза.

5. По критерию «эффективность/стоимость», предполагающему максимизацию среднего ожидаемого значения реализуемого суммарного боевого потенциала группировки при любых фиксированных ассигнованиях на ее создание и содержание, группировка из АПЛ SSN-21IM будет иметь превосходство, по сравнению с эквивалентной (по стоимости создания и содержания) группировкой из АПЛ «Virginia», в 1,5–2 раза, но при этом численность группировки лодок SSN-21IM будет вдвое меньше.

6. Если исходить из требуемой (по взглядам американских специалистов) численности многоцелевых АПЛ в ВМС США — 50 ед., то создание однотипной группировки лодок SSN-21IM потребует примерно двукратного увеличения ассигнований по сравнению с такой же по численности группировкой лодок «Virginia». По среднеожидаемому суммарному значению реализуемого боевого потенциала первая из этих группировок будет в 3–4 раза превосходить вторую.

Вместе с тем группировка из 50 АПЛ SSN-21IM, по-видимому, рассматривается большинством специалистов в США как явно избыточная по боевой мощи. Только на борту ПЛ такой группировки будет находиться 5000 ракет и торпед. С другой стороны, в связи с отходом от жесткого военного противостояния между США и Россией и соответствующим уменьшением боевого потенциала российского ВМФ, и в частности его подводных сил, не имеет смысла продолжать строительство АПЛ типа «Seawolf» (SSN-21) в его сегодняшнем виде, вытекающем из приоритетности решения этими лодками противолодочных задач. Отмеченные выше обстоятельства и послужили, по всей вероятности, основными причинами, по которым в США принято решение возвратиться к направлению дальнейшего совершенствования многоцелевых АПЛ типа «Los Angeles» (SSN-688I), то есть к строительству АПЛ типа «Virginia».

## Самое надежное соединение труб



Система трубопроводов хороша только элементами соединения. Муфтами «STRAUB» Вы соединяете надежно и быстро системы, топливную, охлаждения, транспортную, морского и питьевого водоснабжения, пожаротушения, балластную, эхолотную, пневматическую и защитную. «STRAUB» — это просто, надежно и экономично.

Наш дистрибьютер: ЗАО концерн «ЕВРОСОФТ»  
121908, Москва, Новый Арбат, 11, офис 1428. Тел./факс (095)202-37-71/291-41-03

Glynwed

A Glynwed international business

**straub**


Straub Werke AG • CH-7323 Wangs • Tel. +41 81-725 41 00 • Fax +41 81-725 41 01 • www.straub.ch • straub@straub.ch

**the original**



## ПЕРСПЕКТИВЫ СОЗДАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ АТОМНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ НА БАЗЕ КОРАБЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В. Н. Долгов, докт. техн. наук (СПМБМ «Малахит»)

УДК 621.311.25:621.039(24)

*Предложения о создании подземных атомных электростанций на базе корабельных энергетических установок в последние годы все чаще обсуждаются на научно-технических конференциях, появляются в периодической печати. В предлагаемой читателям статье автор представляет свою концепцию решения данной проблемы.*

Анализ современного состояния атомной энергетики и комплекс проектно-исследовательских разработок по подземным атомным электростанциям (АЭС) позволяют сформулировать ряд положений о возможностях ее дальнейшего развития.

1. Необходимость в АЭС определяется, в первую очередь, возрастающей зависимостью традиционных источников энергии от стоимости добычи и транспортировки органических топлив, постепенным истощением их ресурсов<sup>1</sup>, необоснованностью надежд на широкомасштабное производство энергии на базе термоядерного синтеза, неконкурентоспособностью возобновляемых источников тепловой и электрической энергии, ничтожно малым влиянием АЭС на окружающую среду, которое при нормальной эксплуатации в тысячи раз меньше естественного радиационного фона.

2. Для широкомасштабного развития атомной энергетики требуется более высокий уровень безопасности, исключающий радиационно опасные аварии при любых событиях, в том числе таких, как отказы оборудования, ошибки персонала, природные и антропогенные внешние воздействия.

3. В традиционных атомных энергетических установках (АЭУ) с водяным теплоносителем в первом контуре полезно используется только 0,5% энергетического потенциала природного урана, все остальное — радиоактивные отходы. Другими словами, функционирование АЭУ сопряжено с накоплением громадного количества радиоактивных отходов, переработка и захоронение которых требует больших материальных затрат. Суммарные запасы природного урана не так уж велики. По данным МАГАТЭ, запасы дешевого природного урана, например, в России находятся на уровне 450–500 тыс. т. Ежегодная потребность в природном уране для уже действующих в России АЭС суммарной электрической мощностью 212 ГВт превышает 4000 т. При наиболее вероятном увеличении годового расхода природного урана в 2–2,5 раза запасов урана в России едва ли хватит до середины следующего столетия (при условии, что энергетическая мощность всех АЭС в 2030 г. не будет превышать 50 ГВт).

4. Особенностью ядерной энергетики России является промышленное освоение ядерных реакторов на быстрых нейтронах с жидкометаллическим теплоносителем (ЖМТ). В последнем поколении таких реакторов (типа БН-800) предусмотрено использование смешанного топ-

лива (мокс-топлива), состоящего на 30% из плутония, извлеченного из отработавшего ядерного топлива легководных реакторов или боеголовок ракет, снятых с вооружения, и отвалного урана обогатительных производств, т. е. отходов ядерной энергетики.

5. Замыкание по топливному циклу энергетических систем, включающих ядерные реакторы разного типа, обеспечит увеличение коэффициента полезного использования природного урана и снижение объемов долгоживущих радиоактивных отходов. Наиболее кардинально эту задачу решают системы с реакторами на быстрых нейтронах с ЖМТ.

6. Развитие АЭС на основе традиционных реакторов типа РБМК или ВВЭР, использующих только малую часть энергетического потенциала природного урана, приведет к тому, что к середине следующего столетия атомная энергетика потеряет свою конкурентоспособность. С другой стороны, по мере исчерпания запасов дешевого природного газа конкурентоспособность атомной энергетики будет увеличиваться. Временной интервал, когда АЭС будут менее эффективны по сравнению с тепловыми электростанциями на органическом топливе, может быть существенно сокращен или вообще устранен при использовании реакторов нетрадиционного типа на быстрых нейтронах, охлаждаемых ЖМТ (свинец—висмут). В таких реакторах топливом подпитки служит низкообогащенный или даже обедненный (отвалный) уран.

7. Существующие технологии переработки отработавшего в реакторах типа РБМК и ВВЭР ядерного топлива не исключают возможности выделения плутония и его распространения в качестве составной части для создания ядерного оружия.

8. Удельные капитальные вложения для АЭС России и США, по данным Санкт-Петербургского института «Атомэнергопроект» (СПБАЭП), лежат в пределах 1116–2330 дол. на киловатт установленной электрической мощности; удельная себестоимость одного киловатт-часа вырабатываемой ими электроэнергии составляет 3,23–5,9 цента (табл. 1).

9. Объем производства висмута не только в России, но и во всем мире определяется не разведанными запасами в недрах земли, а уровнем его потребления.

По данным ВНИПИпромтехнологии на базе уже разведанных запасов золотовисмутовых руд в Читинской области может быть организова-

<sup>1</sup> По данным Мирового энергетического совета (МИРЭС), запасов нефти, угля и газа при нынешнем уровне потребления хватит соответственно на 40, 250 и 60 лет («Санкт-Петербургские ведомости» от 12.03.97).

но производство 2500—3000 т висмута в год при удельных капитальных затратах 150 млн дол. США на 1000 т/год. На внешнем рынке в конце 80-х годов спрос на висмут отставал от предложения. Цены на висмут в среднем составляют 10 дол./кг.

Из сказанного выше вытекают пять основных требований, которым должны отвечать АЭС XXI века: безопасность, утилизация плутония и недопущение его распространения, топливообеспечение, переработка и захоронение радиоактивных отходов (РАО), экономическая конкурентоспособность АЭС.

Накопленный СПМБМ «Малахит» опыт в области атомного подводного кораблестроения и результаты проектно-исследовательских работ по подземным АЭС, первые из которых по темам «Арктика» и «Сибирь» приходятся на начало 80-х годов, т. е. на дочернобыльский период, дают основание отнести к энергисточникам нового поколения подземные АЭС (рис. 1), проектирование которых должно базироваться на следующих принципах [1—4]:

1. Геологические формации, такие как каменные соли, кембрийские глины, скальные породы, при антропогенных и радиационных воздействиях являются защитным барьером, надежно изолирующим подземную АЭС от окружающей среды;

2. Архитектурное единство долговременного подземного хранилища отработавшего ядерного топлива с могильником слабо- и среднеактивных РАО, исключающее поступление на поверхность каких-либо вредных отходов и необходимость их перемещения к месту переработки или захоронения;

3. АЭС базируются на использовании освоенных корабельных ядерных технологий, опыта эксплуатации ядерных реакторов на быстрых нейтронах и передовых технологий возведения подземных тоннелей большого сечения;

4. В качестве теплоносителя АЭУ для АЭС нового поколения используют ЖМТ — эвтектический сплав свинец—висмут;

5. Моноблочная (интегральная) компоновка оборудования АЭУ и страховочный корпус, исключающие потерю теплоносителя и выход в окружающую среду радиоактивных веществ даже в случае разгерметизации корпуса ядерного реактора.

Реализация концепции подземных АЭС позволит создать предельно безопасный и экономически эффективный источник тепловой и электрической энергии, сделает АЭС неуязвимой при отказах оборудования, ошибках персонала и внешних воздействиях, таких как цунами, диверсионные взрывы, падение космических тел и летательных аппаратов.

Показатель	США			Россия	
	Существующие блоки АWR-600	Одноблочная АЭС с реактором АWR-600	Двухблочная АЭС с реактором АWR-600	Трехблочная АЭС, блоки ВВЭР-640	Одноблочная АЭС, блок ВВЭР-640
Удельные капиталовложения, дол./кВт	2330	1700	1525	1116	1230
Удельная себестоимость [цент/(кВт·ч)]/%:					
капитальная составляющая	3,9/66,1	2,8/63,6	2,6/65,0	1,84/57,0	2,27/61,5
топливная составляющая	0,6/10,2	0,5/11,4	0,5/12,5	0,72/22,3	0,72/19,5
расходы на эксплуатацию и техническое обслуживание и снятие с эксплуатации	1,3/22,0	1,0/22,7	0,8/20,0	0,47/14,6	0,49/13,3
прочие бюджетные затраты	—	—	—	0,14/4,3	0,14/3,8
Всего:	5,9/100	4,0/100	4,0/100	3,23/100	3,69/100

Подземная АЭС представляет собой комплекс расположенных в подземном пространстве инженерных сооружений, осуществляющих основной технологический процесс, который связан с

радиоактивностью, и комплекс вспомогательных сооружений на поверхности земли, обеспечивающих функционирование АЭС и не связанных с радиоактивностью.

Проектные разработки, выполненные СПМБМ «Малахит» с участием специализированных предприятий — Физико-энергетического института, ОКБ «Гидропресс», Всероссийского проектного и научно-исследовательского института комплексной энергетической технологии, Ленметрогипротранса, СПбАЭП и Ленинградского металлического завода — показали, что в подземном зале, аналогичном станции типа «Спортивная» Санкт-Петербургского метрополитена, может быть размещен энергетический модуль АЭС электрической мощностью 220 МВт (рис. 2). Подземная АЭС в зависимости от потребности в тепловой или электрической энергии может иметь любое число энергетических модулей, каждый из которых состоит из реакторной и турбогенераторной установок мощностью от 50 до 220 МВт. В состав реакторной установки АЭС входят традиционные системы: первый контур (ЖМТ свинец—висмут) и связанные с ним вспомогательные системы; второй контур с системой пуска и расхолаживания; третий и четвертый контуры, образующие соответственно системы охлаждения оборудования пресной водой и водой из водоема или искусственного бассейна. Турбогенераторная установка АЭС по компоновочной схеме, составу оборудования и вспомогательных систем может быть принята по типу корабельной с некоторыми изменениями, связанными с отбором пара на регенеративный подогрев питательной воды и нужды теплофикации, использованием в системе охлаждения главного конденсатора искусственного бассейна, градирен или водоема на поверхности и т. д.

Освоенные технологии строительства корабельных АЭУ и подземных тоннелей

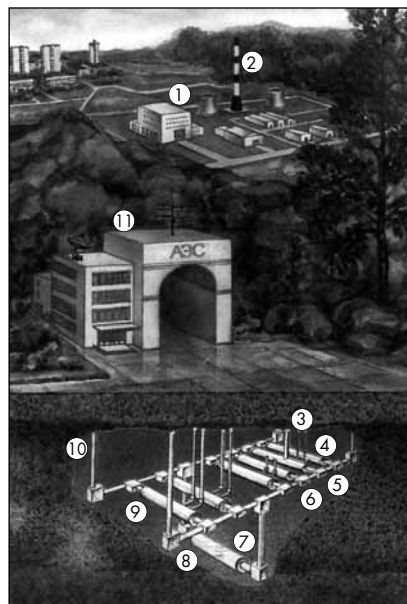


Рис. 1. Возможная компоновка подземной АЭС на базе корабельной технологии с реактором, охлаждаемым жидкотеплоносителем:

1 — комплекс вспомогательных сооружений на поверхности земли, обеспечивающих функционирование АЭС и не связанных с радиоактивностью; 2 — вентиляционная труба; 3 — шахты подвода и отвода охлаждающей воды; 4 — шахты прокладки электрокабелей; 5 — вентиляционный центр, фильтровальная установка «грязного» воздуха; 6 — блок сбора и переработки твердых РАО; 7 — сухое хранилище отработавшего топлива и могильник РАО; 8 — переходные и транспортные тоннели; 9 — энергетические блоки; 10 — шахты с грузовыми и пассажирскими лифтами; 11 — грузопассажирские лифты и санпропускники

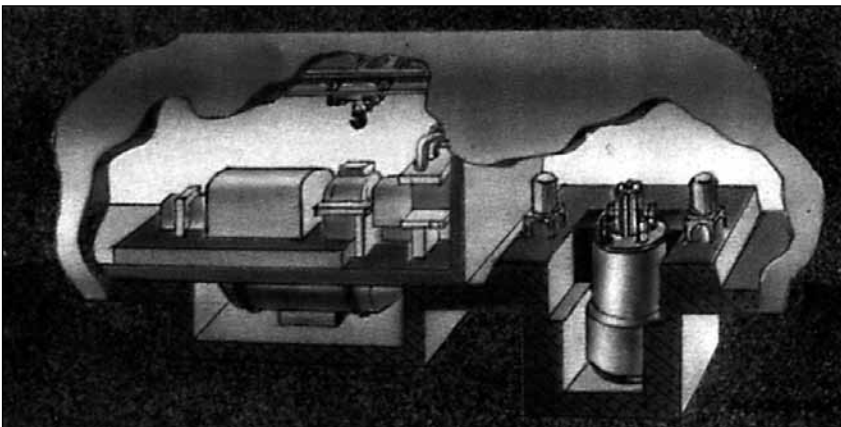


Рис. 2. Энергетический модуль подземной АЭС с реактором на ЖМТ

нелей дают основание утверждать, что продолжительность создания подземной АЭС (например для Белорусии), состоящей из четырех энергетических модулей суммарной мощностью 880 МВт, не более 8–10 лет с момента начала финансирования. Ориентировочный план-график создания подземной АЭС приведен на рис. 3. По предварительным оценкам, общие затраты на проектирование и строительство головного образца такой подземной АЭС составляют 1500–1550 млн дол., удельные капитальные вложения — 1560–1600 дол./кВт, а себестоимость 1 кВт·ч вырабатываемой электроэнергии — 3,5–3,7 цента. При этом не учитывалось, что подземные АЭС имеют ряд экономических и экологических преимуществ, вытекающих из подземного размещения АЭУ. Например, возможность использования АЭС в качестве источников теплоснабжения обеспечит экономию органических топливных ресурсов (уголь, торф, газ) и улучшит экологическую обстановку благодаря исключению выбросов продуктов сгорания в атмосферу.

Учет изложенных обстоятельств должен привести к переоценке приоритетов в атомной энергетике в пользу подзем-

ных АЭС. Экологически чистые и предельно безопасные подземные АЭС могут представить интерес для многих стран Латинской Америки и СНГ, а также для регионов и субъектов Российской Федерации, таких как Приморский край, Мурманская и Читинская области, города Находка, Калининград, Санкт-Петербург и др. При этом важно иметь в виду следующие моменты:

Санкт-Петербург обладает уникальным научно-техническим потенциалом атомного кораблестроения, который, к сожалению, в настоящее время оказался невостребованным. Это обстоятельство, равно как и проблемы Санкт-Петербурга, связанные в первую очередь с нехваткой топлива, дают основание для постановки данной работы в интересах городского хозяйства Санкт-Петербурга;

выделение на предпроектные исследования сравнительно небольших средств (около 50 тыс. дол.) даст возможность разработать в Санкт-Петербурге проект подземной АЭС, который можно будет представить на внутренний и зарубежные рынки. Финансирование разработки самого проекта должно осуществляться из федерального бюджета.

Это позволит сохранить научно-технический потенциал предприятий оборонного комплекса, создать новые рабочие места, увеличить поступление средств в бюджет города и снизить социальную напряженность;

в постановлении расширенного заседания бюро Научного совета по атомной энергетике, подписанном академиком Российской Академии наук Н. Н. Пономаревым-Степным, дается положительная оценка результатов работ СПМБМ «Малахит» по подземным АЭС на базе корабельных технологий, а также содержатся рекомендации региональным администрациям поддержать работы по развитию местных энергетических возможностей за счет строительства атомных станций теплоэлектроснабжения малой и средней мощности в рамках программы развития атомной энергетики России».

Из табл. 2 видно, что технические решения, положенные в основу концепции подземной АЭС, в значительной мере обеспечивают ее безопасность, утилизацию плутония и недопущение его распространения, топливообеспечение, переработку и захоронение РАО, экономическую конкурентоспособность АЭС.

**Подземное размещение АЭУ** (рис. 4) повышает безопасность АЭС за счет следующих факторов:

геологически устойчивые формации (каменные соли, кембрийские глины, скальные породы), своды, набранные из железобетонных блоков, и металлическая прочноплотная обечайка в аварийных ситуациях, а также при антропогенных и стихийных воздействиях являющаяся универсальным защитным барьером, надежно изолирующим подземную АЭС от окружающей среды;

уменьшается интенсивность вероятных сейсмических воздействий в 1,5–2 раза по сравнению с наземной АЭС;

создается возможность отводов тепла при аварийном расхолаживании реактора непосредственно в грунт.

Просто решается проблема сбора, хранения и переработки радиоактивных отходов и отработавшего ядерного топлива, а также обеспечивается выполнение требований по нераспространению плутония.

Подземная АЭС имеет более высокую экономическую конкурентоспособность по сравнению с наземной АЭС по следующим причинам:

может размещаться в непосредственной близости от черты города, что существенно повысит эффективность теплоснабжения в результате уменьшения сетевых потерь и электроснабжения за счет отказа от централизованной системы обеспечения электроэнергией и линий электропередач на дальние расстояния;

требует значительно меньших (по сравнению с наземными) затрат на монтаж, дезактивацию и захоронение

Наименование этапов	ГОДЫ										
	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Предпроектные исследования и разработка концепции АЭС	■										
Разработка проекта АЭС		■									
Выполнение НИОКР		■									
Разработка рабочей документации			■								
Строительство головного энергоблока			■								
Пусконаладочные работы и ввод в эксплуатацию										■	

Рис. 3. Ориентировочный план-график создания АЭС

капитальных конструкций. Выработавшие свой ресурс энергетические блоки захораниваются на месте при минимальном объеме работ, связанных с выгрузкой активной зоны и утилизацией оборудования. Наземные строения такой АЭС не требуют отчуждения больших площадей, которые к тому же после окончания эксплуатации практически не нуждаются в рекультивации;

позволяет легко реализовать принцип долговременного (100—200 лет) хранения отработавшего ядерного топлива и могильника РАО. В этом случае исключаются затраты, связанные со строительством региональных хранилищ РАО и их транспортировкой к месту переработки и захоронения.

**Реактор на быстрых нейтронах** повышает безопасность АЭС за счет физических свойств самой активной зоны:

обеспечивает самопроизвольное снижение мощности реактора (отрицательный эффект реактивности) при повышении температуры в активной зоне в случае нарушения теплоотвода, потери теплоносителя, заполнения активной зоны водой или паром;

способствует решению проблемы утилизации плутония и недопущения его распространения;

позволяет решить проблемы топливообеспечения атомной энергетики путем организации полномасштабного замкнутого ядерного топливного цикла. В качестве топлива в этом случае может применяться обедненный уран, что позволяет снять проблему топливообеспечения на 200—300 лет; повышает коэффициент полезного использования природного урана, благодаря чему снижаются объемы РАО; повышает конкурентоспособность

Таблица 2

**Основные требования к АЭС XXI века и технические решения, обеспечивающие их выполнение**

Требования	Технические решения			
	Подземное размещение	Реактор на быстрых нейтронах	ЖМТ	Моноблочная компоновка
Безопасность	+	+	+	+
Утилизация плутония и недопущение его распространения	+	+	○	○
Топливообеспечение	○	+	+	○
Переработка и захоронение РАО	+	+	+	○
Экономическая конкурентоспособность	+	+	+	+

Условные обозначения: + — обеспечивает; ○ — не влияет.

АЭС за счет решения проблемы топливообеспечения.

**Жидкометаллический теплоноситель** обеспечивает безопасность АЭС благодаря своим физическим свойствам:

высокая температура кипения сплава висмут—свинец при низком давлении в первом контуре исключает повышение давления и переопрессовку контура при аварийном перегреве теплоносителя, а также тепловой взрыв и потерю теплоносителя за счет его выкипания в случае разгерметизации контура;

быстрое затвердевание сплава при разгерметизации контура, низкий уровень наведенной долгоживущей гамма-активности и способность сплава удерживать радиоактивный йод и другие продукты деления резко снижают радиационную опасность по сравнению с аналогичной аварией на АЭС с традиционными реакторами РБМК или ВВЭР и делают установку безопасной при осмотре и ремонте оборудования первого кон-

тура даже в случае пролива теплоносителя;

более жесткий спектр нейтронов позволяет повысить значение коэффициента воспроизводства топлива. При этом уменьшается количество РАО за счет существенного увеличения эффективности энергетического потенциала природного урана, повышается конкурентоспособность АЭС благодаря упрощению конструкции и использованию аустенитных сталей.

Следует отметить, что свинцово-висмутовый теплоноситель в процессе работы не расходуется и может быть повторно использован как после ремонта, так и в новых реакторных установках.

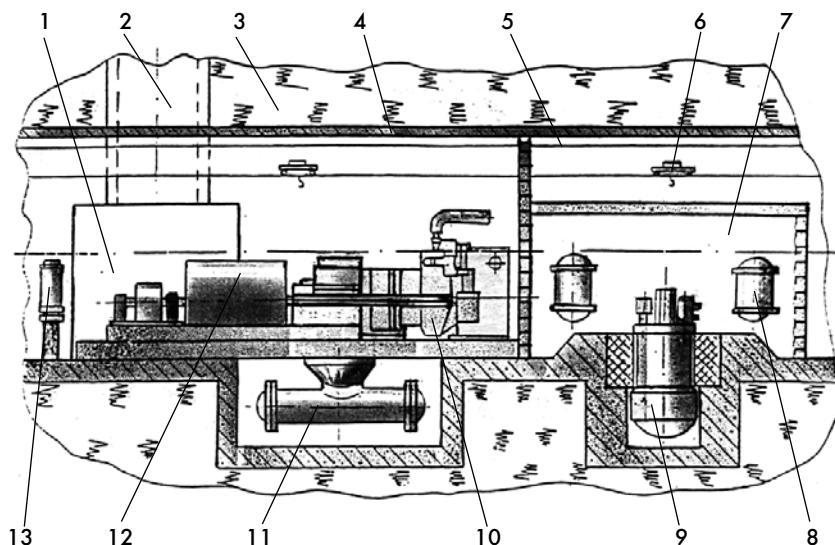


Рис. 4. Размещение АЭУ в подземном тоннеле:

1 — тоннель; 2 — шахта; 3 — геологически устойчивые грунты; 4 — свод из железобетонных блоков; 5 — металлическая полуобечайка со шпангоутами; 6 — мостовой кран; 7 — прочноплотная вакуумированная реакторная выгородка; 8 — сепаратор; 9 — реактор; 10 — турбина; 11 — конденсатор; 12 — электрогенератор; 13 — блок-эжекторы

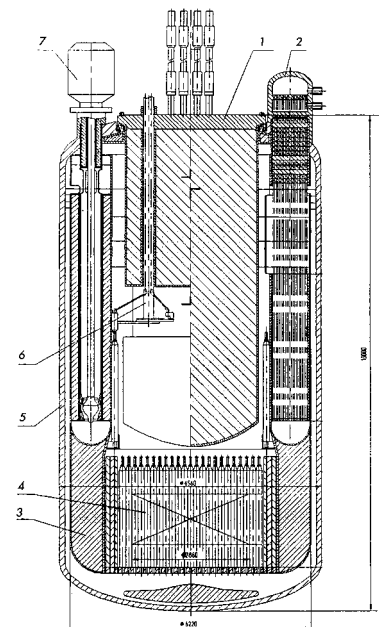


Рис. 5. Продольный разрез реакторной установки подземной АЭС:

1 — поворотная пробка; 2 — парогенератор; 3 — боковая биологическая защита; 4 — активная зона; 5 — корпус; 6 — устройство для перегрузки ТВС; 7 — циркуляционный насос первого контура

**Моноблочная (интегральная) компоновка оборудования АЭУ (рис. 5):**

в сочетании со страховочным корпусом гарантирует невозможность вытекания теплоносителя из первого контура даже при его разгерметизации, что исключает тяжелую аварию с потерей теплоносителя и появлением радиоактивных аэрозолей;

конструктивные особенности моноблока позволяют осуществить пассивное расхолаживание реактора через корпус к атмосферному воздуху за счет естественной конвекции по специально предусмотренным воздуховодам, что позволяет избежать перегрева активной зоны и ее расплавления;

позволяет обеспечить изготовление, сборку и наладку реакторного модуля полностью в заводских условиях с последующей доставкой крупных блоков к месту строительства АЭС, что, в конечном счете, повышает экономическую конкурентоспособность АЭС.

Концепция подземных АЭС на базе корабельных ядерных технологий с реактором на быстрых нейтронах, охлаждаемым ЖМТ (сплавом свинец—висмут), в моноблочном исполнении и размещении АЭУ в подземных тоннелях, защищенных стометровой толщиной геологически устойчивых формаций, в наиболее полной мере отвечает требованиям к атомным энергоисточникам следующего столетия.

## КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ВИЗУАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Ю. И. Плотников, докт. техн. наук (ВМИИ) УДК 681.518.5:007.52:629.5.03

Судовые энергетические установки (ЭУ) и составляющие их технические средства (ТС) на всех этапах эксплуатации характеризуются такими технико-эксплуатационными свойствами и показателями, как мощность, производительность, подача, экономичность, надежность, живучесть и др. От того, насколько оперативно, полно и достоверно будут оцениваться и реализовываться эти свойства, зависит качество выполнения задач, стоящих перед судом в целом. Особая роль здесь принадлежит системе контроля, предназначенной для сбора, преобразования, передачи и представления информации, необходимой для принятия решений о воздействии на контролируемый объект. Наличие в составе ЭУ десятков технических средств, имеющих самые разные принципы действия, обуславливает необходимость контроля сотен параметров. Совершенствование, повышение мощности установок, насыщение их автоматикой ведет к росту количества контрольно-измерительных приборов (КИП). Так, за последние 40 лет число КИП только по энергетическим установкам увеличилось примерно в 6 раз, количество приборов-сигнализаторов возросло более чем в 30 раз.

Анализ распределения блоков контроля ТС по видам сигнального раздражителя и способам представления информации показывает, что около 90% приборов предусматри-

вают визуальную форму восприятия информации. Восприятие информации слуховым, тактильным и температурным анализаторами оператора составляет около 10% [1].

Традиционная система визуального контроля включает объект и зрительную систему оператора, взаимодействие которых происходит либо непосредственно, либо опосредованно, через оптический прибор.

Опытные операторы могут визуально достаточно надежно контролировать показания приборов, обнаруживать при внешнем осмотре многие поверхностные дефекты — трещины, окисные пленки, дефекты сварки, местные концентраторы напряжений в виде острых зазубрин, риск и т. п. Однако результаты такого контроля в значительной степени субъективны, поскольку зависят от индивидуальных особенностей оператора (острота зрения, цветовосприятие, память) и его физического состояния (степень усталости, внимательности и т. п.).

Условно зрительную систему (ЗС) оператора можно разделить на две части: зрительный анализатор, который является своего рода датчиком видеoinформации, и центральную нервную систему. Зрительный анализатор имеет определенные ограничения по разрешающей способности в виде порогов световой, пространственной и временной чувствительности. Большое значение здесь имеют внешние условия (ос-

### Литература

1. Долгов В. Н. Энергетическая установка с внутренне присущей безопасностью для подземной АЭС//Атомная энергия. 1994. Т. 76. Вып. 2.
2. Долгов В. Н. ПАТЭС экологически безопаснее//Международный журнал «Сегодня». 1996. № 1/2.
3. Долгов В. Н. Концепция и перспективы создания экологически чистых, безопасных и социально приемлемых ядерных технологий//Атомная энергия. 1996. Т. 82. Вып. 5.
4. Атомные электростанции XXI века/В. Н. Долгов, Н.И. Кулагин, А.И. Салан, С.П. Щукин//Подземное пространство мира. 1997. № 3.

вещенность, угол обзора, расстояние до объекта, вибрация, состояние промежуточной среды и др.), которые существенно влияют на разрешающую способность зрительного анализатора оператора.

Центральная нервная система выполняет роль управляющего звена ЗС, обеспечивая переработку информации, включая арифметические и логические операции, хранение и извлечение информации из памяти.

Анализ предельной информационно-пропускной способности (предельное число различимых градаций состояния объекта в единицу времени) центральной нервной системы показывает, что она составляет примерно 10—40 бит/с, в то время как пропускная способность зрительного анализатора более чем в миллион раз выше — примерно 45 Мбит/с [2].

Данное несоответствие резко снижает возможности переработки информации ЗС оператора в целом. В этом случае центральная нервная система работает как звено с чистым запаздыванием. Именно этим объясняется то, что при визуальном контроле практически отсутствует косвенная оценка обобщенных показателей ТС, ограничено число контролируемых КИП и существенно погрешность считывания при оперативном контроле, крайне низка надежность динамического контроля при решении задач управления, ограничены возможности запоминания и объективной количественной оценки изображений элементов оборудования по данным внешнего осмотра, эндоскопии и микроскопии в диагностических задачах.

Узкий световой диапазон спектра электромагнитного излучения, вос-

принимаемый зрительным анализатором оператора непосредственно, не позволяет получить в полном объеме информацию о состоянии теплоэнергетических и электроэнергетических объектов, так как они активно излучают энергию в инфракрасном (ИК) диапазоне спектра.

Перечисленные недостатки традиционных систем визуального контроля судовых ТС существенно снижают полноту, оперативность и достоверность контроля.

Одним из путей решения этой проблемы является автоматизация процесса сбора и обработки изображений с помощью компьютеризированных видео- и тепловизионных комплексов. Информационно-пропускная способность процессоров современных ЭВМ составляет сотни Мбит/с, что более чем в миллион раз превышает пропускную способность ЗС оператора. Возможности современных тепловизионных модулей позволяют визуализировать ИК-излучение объектов в диапазоне от 1 до 14 мкм и более, что расширяет диапазон спектра наблюдения более чем в 1000 раз.

В основу методологии создания компьютеризированного видеокomплекса положены принципы единого теоретико-информационного подхода к биологическим и техническим системам передачи и обработки изображений на основе диалектических противоречий, биотехнической аналогии и математического моделирования.

Центральное место в структуре формирования системы занимает ТС как объект визуального контроля, который непосредственно взаимодействует со зрительной системой оператора и аппаратно-программными модулями, частично восполняющими и дублирующими ЗС. Зрительная система оператора характеризуется психофизическими свойствами, такими как память, пропускная способность, разрешающая способность зрительного канала. Аппаратно-программные модули системы характеризуются информационно-техническими параметрами видеодатчиков, компонентами компьютера и интерфейсом.

Формализованное описание взаимодействия указанной триады с учетом внешних световых, механических и тепловых воздействий возможно при наличии математического описания объекта контроля.

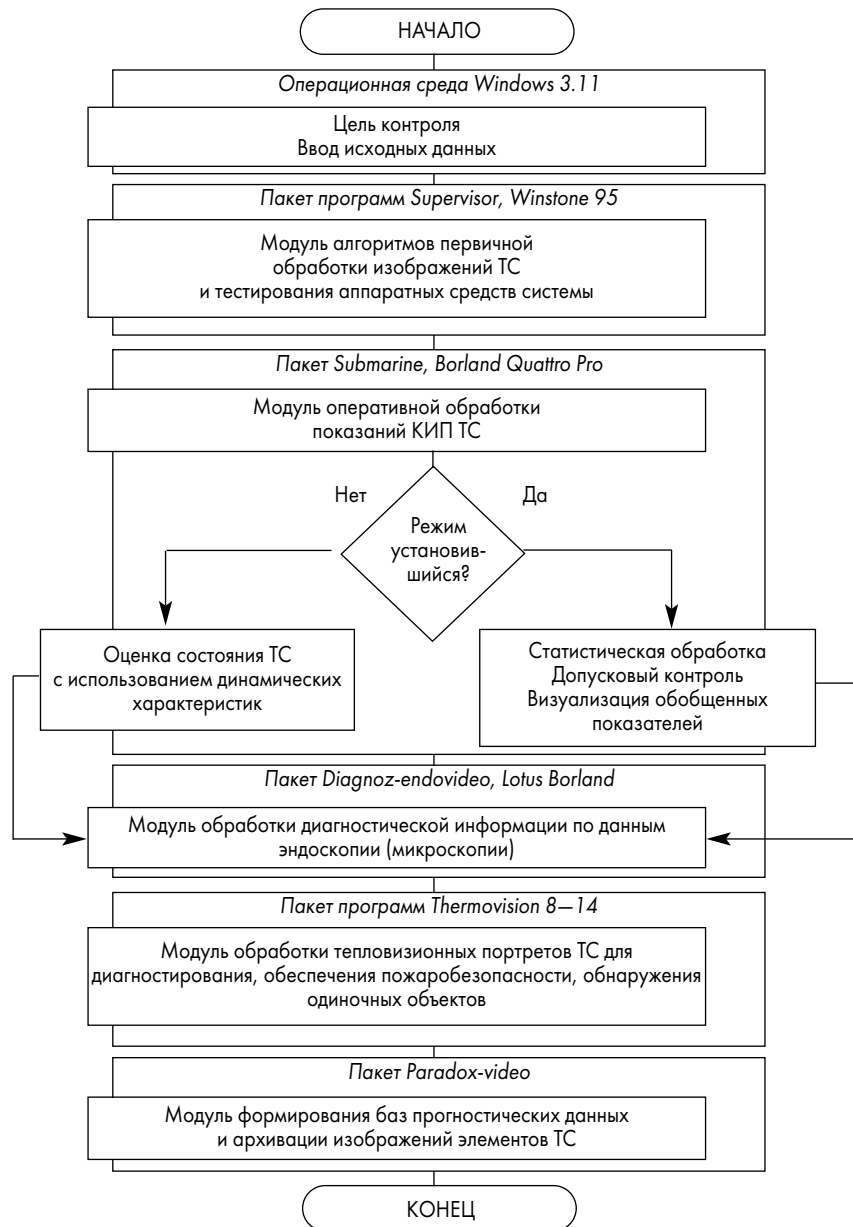


Рис. 1. Блок-схема алгоритмических и программных модулей компьютеризированного многоцелевого визуального контроля судовых ТС

Математическая модель должна обладать достаточной общностью и работоспособностью в широком спектре длин волн излучения ТС, особенно в тепловом диапазоне, включающем световое и ИК-излучение. Учитывая специфику зрительного восприятия, в модели следует предусматривать дискретность и стохастичность изображений объекта. Кроме того, модель должна быть пригодной для формализации многоцелевого визуального контроля.

Важнейшим вопросом при обработке изображения объекта является сжатие объемов информации. Получение изображения в формате экрана монохромного монитора

1024 на 760 пикселей с разрешением 256 оттенков требует около 1 Мбайт памяти. Если к этому добавить, что объект необходимо сканировать во времени и представлять в полноцветном изображении, то судовой видеокomплекс должен иметь пространственно-временную фильтрацию изображений. Вместе с тем, искусственное снижение объема информации об объекте не должно приводить к значительной потере точности при воспроизведении изображений, поэтому необходима разработка критериев оценки качества обработки, сжатия и восстановления изображений и методов оптимизации перечисленных процедур. Полученное



Рис. 2. Внешний вид микровидеоголовки ЭВК-103МС (слева для сравнения по габаритам показан аналоговый датчик давления ЭДД-100)



Рис. 3. Подсистема видеоэндоскопии

изображение объекта должно быть обработано и представлено в виде, позволяющем принять решение о применении тех или иных воздействий на ТС.

Основные направления, реализующие преимущества автоматизированной обработки изображений, включают в себя: оперативное распознавание показаний приборов, получение косвенных измерений, контроль динамических режимов и оценку состояния объекта по динамическим характеристикам; оперативную обработку, классификацию, прогнозирование и систематизацию изображений элементов ТС по данным эндоскопии и микроскопии; расширение светового диапазона, получение и обработку тепловизионных портретов для оценки технического состояния тепло- и электрооборудования, раннего обнаружения возгораний, поиска одиночных объектов в условиях плохой видимости.

Укрупненная блок-схема алгоритмических и программных модулей компьютеризированного многоцелевого визуального контроля судового энергооборудования представлена на рис. 1 [3].

Модуль оперативной обработки показаний КИП включает в себя алгоритмы по переработке измерительной информации, поступающей от видеодатчиков, экспонирующего изображение шкал и стрелок приборов. Модуль позволяет получить изображения шкал и стрелок на экране дисплея, считывать показания приборов и получать их в цифровом виде с высокой точностью, обрабатывать информацию для получения обобщенных показателей, а также построения необходимых графических

зависимостей, в том числе оценивать изменения параметров энергооборудования в реальном масштабе времени, синтезировать звуковые сигналы при выходе параметров за пределы допусков.

Указанный модуль может быть использован в целях диагностирования эксплуатирующихся судов, при испытании вновь строящихся судов в процессе их сдачи для более полного и глубокого обследования ТС, а также для записи информации в «черном ящике».

Модуль обработки диагностической информации по данным эндоскопии (микроскопии) позволяет исключить субъективную оценку качества поверхности ТС, получать объективные численные характеристики дефектов и прогнозировать их развитие. Цифровая обработка изображений поверхностей элементов ТС по данным эндоскопии заключается в оценке метрики и топологии дефектов, выявлении связей с параметрами разрушения по Гриффитсу.

Использование модели стереоскопической оценки пространственной глубины, в основу которой положены глубинные параллаксы двух видеодатчиков, позволяет получить третье измерение пространства для оценки глубины коррозии поверхности объекта.

Модуль обработки тепловизионных портретов служит для диагностирования и обеспечения пожаробезопасности судовых ТС, обнаружения одиночных объектов в условиях ограниченной видимости.

Визуализация ИК-диапазона спектра излучения объекта с последующей цифровой обработкой его тепловых портретов позволяет су-

щественно увеличить полноту и глубину визуального контроля, оценивать состояние тепловой изоляции, наличие внутренних отложений, засорений и протечек систем теплоэнергетических объектов, определять нарушение электроизоляции и состояние контактных соединений электрооборудования.

Визуализация температурного поля ТС с использованием инфракрасных зеркал и эталонных излучателей дает возможность оценивать пожароопасное состояние помещений со сверххранним дифференцированным выявлением зарождающихся источников возгорания.

Использование свойств высокой пропускной способности ИК-излучения по сравнению со световым позволяет значительно увеличить дальность обнаружения объекта в условиях ограниченной видимости.

Разработанные методы первичной и вторичной обработки и представления информации в значительной степени реализованы алгоритмически, программно и аппаратно. Аппаратная реализация системы представляется в двух вариантах: бортовом и базовом. Бортовая система визуального контроля включает в себя подсистемы: внешнего обзора, эндоскопии, микроскопии и тепловидения. Посредством блока видеоввода системы связаны с компьютером и монитором. Бортовая система может функционировать в автономном варианте. При необходимости обработки информации на более высоком уровне, экспертизы и архивации информационных портретов ТС бортовая система по различным информационным каналам, включая и спутниковый радиоканал, подключается к базовой системе.



Рис. 4. Подсистема видеомикроскопии

Внешний вид аппаратуры бортовой системы визуального контроля, реализованной в переносном варианте на базе персонального компьютера типа Notebook, представлен на рис. 2—6.

Основу подсистем внешнего обзора КИП, эндоскопии и микроскопии составляет универсальная микровидеоголовка ЭВК-103МС «Зенит» с электронно-оптическим переходным устройством, которая выдает сигнал в стандарте PAL на монитор, видеоманитонфон и на ПЭВМ через специальный аналого-цифровой преобразователь.

#### Основные характеристики видеосистемы

Разрешение, телевиз. линий	.....450
Отношение сигнал/шум, дБ	.....46
Порог чувствительности, лк	.....1
Видеовыход	.....VC (S-VHS), PAL
Питание:	
напряжение, В	.....110/220
мощность, Вт	.....11
Габариты видеоголовки, мм	.....35 x 29
Масса, г	.....76



Рис. 5. Подсистема тепловидения

Тепловизионная подсистема реализована на базе пировидеоконной камеры КТ-205 (НИИП), которая не требует криогенного охлаждения и имеет выходной сигнал, такой же, как и видеоподсистема в стандарте PAL.

#### Основные характеристики пировидеоконной камеры

Разрешение, телевиз. линий	.....200
Порог температурной чувствительности, К	.....0,2
Спектральный диапазон, мк	.....8—14
Видеовыход	.....S-VHS
Питание:	
напряжение, В	.....12
мощность, Вт	.....18
Габариты, мм	.....110 x 130 x 220
Масса, кг	.....2,5

Обработка видео- и тепловизионных сигналов проводилась с помощью ПЭВМ с модулем АЦП (см. рис. 6).

Основные характеристики компьютера Notebook/Compac: микропроцессор — Pentium; тактовая частота — 90 МГц; ОЗУ — 16 Мбайт; жесткий диск — 1,2 Гбайт; графическая память — 2 Мбайт; инфракрасный порт — есть; напряжение — 220 В; габариты 297 x 210 x 56 мм; масса — 3,7 кг.

Эффективность разработанной системы многоцелевого компьютеризированного визуального контроля оценивалась путем сравнения результатов контроля ТС парового котла, выполненного с применением новой системы, а также традиционным визуальным методом и при использовании информационно-измерительной системы с аналоговыми датчиками.

Сравнительный анализ показал, что в первом случае, за счет



Рис. 6. Автономная компьютеризированная система видеоконтроля в составе универсальной видеоголовки, встроенного модуля АЦП, компьютера COMPAQ/Notebook и программного обеспечения

расширения спектра наблюдения, возможности оценки обобщенных показателей ТС, динамического контроля объема оперативного диагностического контроля, оценки пожаро-безопасности увеличиваются в 2,5 и более раз.

В результате снижения погрешности считывания, статистической обработки показаний приборов, повышения быстродействия обработки достоверность оценки показаний КИП повышается до 80—90% в зависимости от дистанции и угла визирования приборов.

Оперативность визуального контроля благодаря использованию компьютерных средств обработки изображений увеличивается более чем в миллион раз по сравнению с традиционной системой.

Кроме того, в связи с упрощением структурной схемы системы вероятность ее безотказной работы повышается на 9% (для 10 КИП), а ремонтпригодность — на 60—70%.

Экономическая эффективность системы, в зависимости от соотношения стоимости аналоговых датчиков теплотехнических параметров и видеодатчика, увеличивается на 70—90%.

#### Литература

1. Николаев В. И. Информационная теория контроля и управления (в приложении к судовым энергетическим установкам). Л.: Судостроение, 1973.
2. Глезер В. Д., Цуккерман И. И. О пропускной способности зрения // Техника кино и телевидения. 1961. № 3.
3. Плотников Ю. И. Методологическое, информационное и техническое обеспечение компьютеризированного многоцелевого визуального контроля корабельных технических средств. СПб., 1997.



## ОПТИМАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ ВОЗДУХООБМЕНА В ЗАМКНУТЫХ СУДОВЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ

С. Б. Старцев, канд. техн. наук (ГНЦ ЦНИИ им. академика  
А. Н. Крылова), Б. А. Старцев (ГНЦ ЦНИИТС)

УДК 697.911.001.573:629.5

При проектировании и строительстве судов и кораблей одним из важных вопросов является расчет вентиляционных систем. При бесконечном многообразии форм и размеров замкнутых судовых помещений и отсеков качество воздухообмена должно отвечать требованиям санитарно-гигиенических норм. Особенно сложно обеспечение этих требований при строительных работах (окраска, сварка), требующих повышенного уровня циркуляции воздуха и проводящихся при использовании переносных вентиляционных установок. Стационарные и переносные системы вентиляции должны быть рационально размещены (места подачи и отсоса воздуха), а условия их эксплуатации (расход, скорость подачи воздуха) близки к оптимальным. Перечисленные требования легли в основу комплексного подхода к решению задач проектирования вентиляционных систем. Специалистами ЦНИИТС и ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова проведены экспериментальные и теоретические исследования по созданию расчетного метода определения оптимальных режимов вентиляции в замкнутых пространствах.

Для определения эффективности вентиляции судовых помещений разработана программа расчета на ПЭВМ воздухообмена в замкнутых пространствах. Математическая модель процесса переноса воздушных масс основана на решении системы уравнений Навье—Стокса при удовлетворении условиям неразрывности и заданным граничным условиям, отвечающим геометрии судового помещения [1]. В вентилируемом объеме учитывается диссипация энергии, а также потери энергии вследствие внезапного расширения и сужения потока в местах подачи и отсоса воздуха. Задача решается для установившегося режима воздухообмена при условии сохранения баланса энергии. Разработанная программа учитывает влияние специфических зон вентилируемого помещения в местах подачи и отсоса воздуха, описывая перемещение частиц воздуха по уравнениям струйных и сточных течений, что существенно повышает достоверность получаемых результатов [2].

Объемная модель судового помещения с размещением вентиляционной системы представлена на рис. 1.

Модель позволяет варьировать геометрические размеры замкнутых пространств и условия процесса вентиляции, основные из которых — расход воздуха  $Q$ , диаметры входных  $D_{вх}$  и выходных отверстий  $D_{вых}$ , их геометрическое расположение  $x_{вх}$ ,  $y_{вх}$ ,  $z_{вх}$ ,  $x_{вых}$ ,  $y_{вых}$ ,  $z_{вых}$ , скорость подачи воздуха, количество контрольных точек (по осям), критерий застойных зон (по значению скорости воздуха).

Для конкретных исходных данных (геометрия помещения, система вентиляции) рассматривается трехмерное поле скоростей воздушных масс внутри объема в контрольных точках  $(u_i, v_i, w_i)$ . По значению модуля скорости  $V_i = \sqrt{u_i^2 + v_i^2 + w_i^2}$  проводится анализ эффективности воздухообмена.

Составляющие вектора скорости  $u, v, w$  соответственно по осям  $X, Y$  и  $Z$  представлены в следующей форме:

$$\begin{aligned} u &= A_0 y(H - y) z(B - z) + f(x) \varphi'(y) \psi'(z); \\ v &= A f'(x) \varphi(y) \psi'(z); \\ w &= -(1 + A) f'(x) \varphi'(y) \psi(z), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $A_0, A$  — постоянные величины.

В таком представлении выражения для составляющих скорости (1) обеспечивают выполнение условия неразрывности [2].

Первое слагаемое в выражении для  $u$  определяется постоянным расходом воздуха ( $Q$ ) вдоль оси  $OX$  —  $A_0 = 36Q/(HB)^3$ .

Для удовлетворения граничным условиям на стенках объема представим функции  $f, \varphi, \psi$  в следующем виде:

$$\begin{aligned} f(x) &= 0,5D [1 - \cos(2\pi K_1 x/L)]; \\ \varphi(y) &= 0,5 [1 - \cos(2\pi K_2 y/H)]; \\ \psi(z) &= 0,5 [1 - \cos(2\pi K_3 z/B)], \end{aligned} \quad (2)$$

где  $D$  — постоянная, определяющая величину возмущенного движения;  $K_1, K_2, K_3$  — волновые числа, характеризующие масштабы возмущений по координатам  $X, Y, Z$ .

Величины  $A, K_1, K_2, K_3$  находятся с учетом геометрических параметров, связанных с положением отверстий на стенках помещения и с их относительными поперечны-

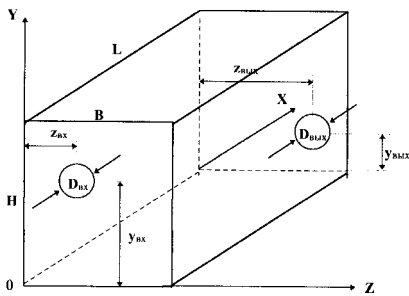


Рис. 1. Модель судового помещения

ми размерами. Волновые числа могут принимать целые значения: 1, 2, 3, ... Для их выбора необходима информация о количестве вихревых зон (количество вихрей), размещающихся на отрезках L, H, B. Волновые числа выбираются по результатам экспериментальных исследований. Параметр D, характеризующий масштаб вихреобразования в данном объеме, рассчитывается исходя из энергетических соотношений, определяющих приток энергии в объем и ее диссипацию вследствие сил вязкости.

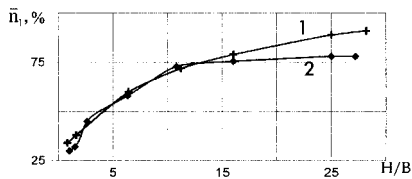


Рис. 2. Зависимость эффективности вентиляции n̄ от формы поперечного сечения отсека:  
1 - V = 500 м³ (L = 20 м); 2 - V = 1000 м³ (L = 40 м)

Приток энергии в объем за единицу времени определяется потерями энергии струи при внезапном расширении ΔE<sub>расш</sub> и аналогичными потерями при внезапном сужении ΔE<sub>суж</sub> сечения потока. Общие потери энергии в объеме равны сумме ΔE<sub>расш</sub> и ΔE<sub>суж</sub>:

$$\Delta E = 0,5 Q^3 \left[ \left( \frac{1}{F_{вх}^2} \right) \left( 1 - \frac{F_{вх}}{NB} \right)^2 + \left( \frac{1}{2F_{вых}^2} \right) \left( 1 - \frac{F_{вых}}{NB} \right)^{0,75} \right], \quad (3)$$

где F<sub>вх</sub>, F<sub>вых</sub> — площади входного и выходного отверстий, м².

При турбулентном характере течения воздуха для определения суммарной диссипации энергии в вентилируемом объеме коэффициент кинематической вязкости возду-

ха ν следует заменить на кажущуюся турбулентную кинематическую вязкость [4]:

$$\epsilon = \chi_1 (u_{max} - u_{min}) b, \quad (4)$$

где χ<sub>1</sub> = 0,04 — постоянная величина; b — характерная ширина зоны перемешивания (целесообразно принять b = √(NB), м; u<sub>max</sub> - u<sub>min</sub> — разность продольных скоростей в зоне перемешивания, м/с.

Таким образом, с учетом равенств (1)...(4) можно получить уравнения для расчета поля скоростей в объеме.

Вблизи отверстий нагнетания и отсоса воздуха течение воздушных масс существенно отличается от перемещений частиц воздуха, описываемых уравнениями (1). В районе подачи воздуха поле продольных скоростей описывается известными [3] соотношениями теории свободных турбулентных струй (таблица).

Расстояние от входного отверстия $\bar{x} = x/R_{вх}$	Радиус струи $R/R_{вх}$	Распределение скоростей $u/V_0^*$
от 0 до 12,4	$1 + 0,14(x/R_{вх})$	$[1 - 0,93(R/x)^{1,5}]^2$
> 12,4	$0,22(x/R_{вх})$	$[1 - (R/x)^{1,5}]^2$

\* V<sub>0</sub> — средняя скорость на выходе из отверстия, м/с.

В зоне отверстия, отводящего воздух из помещения, продольная составляющая поля скоростей воздушных масс описывается следующим уравнением:

$$u = - \frac{Q}{2\pi} \left\{ \frac{x-L}{[(x-L)^2 + (y-y_{вых})^2 + (z-z_{вых})^2]^{1,5}} + \frac{x+L}{[(x+L)^2 + (y-y_{вых})^2 + (z-z_{вых})^2]^{1,5}} \right\}, \quad (5)$$

где L — длина судового отсека, м; Q — расход воздуха, м³/с; x<sub>вых</sub>, y<sub>вых</sub>, z<sub>вых</sub> — координаты центра вытяжного отверстия, м; x, y, z — координаты контрольной точки, м.

Формулы для определения величин вертикальной v и боковой w составляющих поля скоростей потока имеют структуру, аналогичную зависимости (5).

Критерием эффективности вентиляции является значение скорости, определяемое санитарно-гигиеническими нормами. Воздухообмен в i-й точке пространства считается удовлетворительным, если модуль ско-

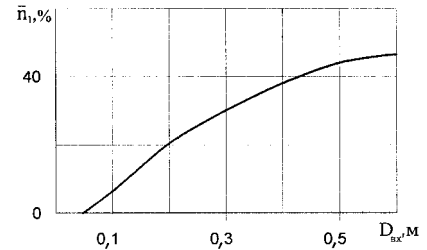


Рис. 3. Зависимость эффективности вентиляции n̄ от диаметра входного отверстия D<sub>вх</sub>

рости больше или равен заданной величине. Количество точек объема, в которых не удовлетворяются условия критерия n<sub>1</sub>, определяет качество продувок отсека. При этом результаты определяются процентным соотношением  $\bar{n}_1 = n_1/n_0$ , где n<sub>0</sub> — общее количество контрольных точек объема.

С помощью разработанной программы выполнены системные расчеты вентиляции судовых помещений. На основе этих данных исследовано влияние на эффективность вен-

тиляции следующих факторов условий воздухообмена: форма поперечного сечения судового отсека (рис. 2); геометрические параметры входного и выходного вентиляционных отверстий (рис. 3, 4); расход подаваемого воздуха (рис. 5); расположение отверстий подачи воздуха по высоте и ширине отсека (рис. 6); удлинение судового помещения L/H; волновые числа K<sub>1</sub>, K<sub>2</sub>, K<sub>3</sub>, характеризующие количество вихревых структур в исследуемом объеме по осям системы координат X, Y, Z.

По результатам системных расчетов сформулированы основные

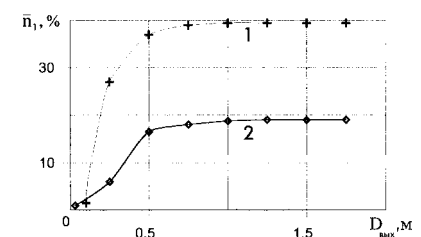


Рис. 4. Зависимость эффективности вентиляции n̄ от диаметра выходного отверстия D<sub>вых</sub>:  
1 - L = 20 м; 2 - L = 5 м

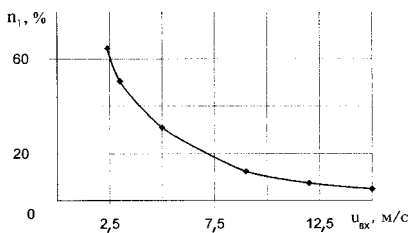


Рис. 5. Зависимость эффективности вентиляции  $\eta$  от скорости подачи (расхода) воздуха

рекомендации по обеспечению оптимальных режимов вентиляции замкнутых пространств:

при фиксированном расходе воздуха следует стремиться к уменьшению диаметра технологического выреза подачи воздуха;

диаметр выреза для отвода воздуха желательно делать больше (в разумных пределах) для того, чтобы давление в помещении заметно

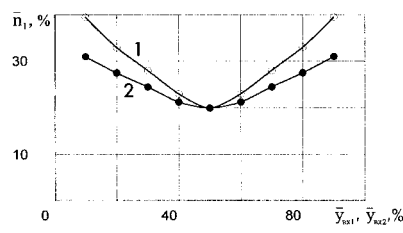


Рис. 6. Зависимость эффективности вентиляции  $\eta$  от расположения входного отверстия при перемещении входного отверстия по диагонали (1) и высоте (2)

не повышалось, что привело бы к уменьшению скорости воздуха;

оптимальным местом расположения подачи и отвода воздуха для объемов в форме прямоугольных параллелепипедов является область вблизи точки пересечения диагоналей торцевых стенок;

наилучшие условия вентиляции при прочих равных факторах обеспечиваются в отсеках с отно-

сительным удлинением порядка единицы.

Заключение. 1. Разработана математическая модель определения трехмерных полей скоростей в замкнутых судовых помещениях различной конфигурации при произвольных режимах вентиляции.

2. Создана программа расчета на ПЭВМ эффективности воздухообмена с выбором оптимальных условий вентиляции.

3. Достоверность практического использования разработанной программы доказана сравнительной оценкой полученных результатов с данными экспериментов на моделях судовых отсеков.

#### Литература

1. Кочин Н. Е., Кибель И. А., Розе Н. В. Теоретическая гидромеханика. Ч. 1. М.: ГИТТЛ, 1955.
2. Талиев В. Н. Аэродинамика вентиляции. М.: Стройиздат, 1979.
3. Гиневский А. С. Теория турбулентных струй и следов. М.: Машиностроение, 1969.

## ТЕХНИКА ТРУБНЫХ СОЕДИНЕНИЙ ФИРМЫ STRAUB

В настоящее время судостроение характеризуется избыточными мощностями верфей. Это обстоятельство настоятельно требует создания новых концепций и технологий. На примере техники трубных соединений фирмы STRAUB показан путь в этом направлении.

Снижение расходов начинается уже при проектировании системы трубопроводов, если вместо обычной жесткой системы соединения труб будет применяться техника, при которой монтаж и принцип уплотнения обеспечиваются независимо от материала труб, диаметра или толщины стенки. Концы труб можно соединить с помощью готовой к монтажу муфты. Для этого, непосредственно на месте монтажа, требуется только отрезать трубу соответствующей длины и снять заусенцы. Поскольку при монтаже не требуется выдерживать зазор между трубами с точностью до 1 мм, отпадает необходимость в дорогостоящей правке и подгонке труб. Не требуется также предпринимать меры пожарной безопасности, которые необходимы при сварочных работах.

Монтаж труб чрезвычайно прост. Затяжка с соответствующим моментом двух болтов на муфте в считанные минуты обеспечивает га-

рантированное соединение. Вращая муфту, можно найти удобное ее расположение для монтажа, даже при малом свободном пространстве. Муфты фирмы STRAUB являются разъемными, поэтому они могут сниматься, многократно использоваться в случае изменения схемы трубопровода.

Снижение расходов обеспечивается благодаря компактности муфты, возможности проведения монтажа в труднодоступных местах, за счет более простого осевого центрирования труб.

**Надежность.** На судах трубопроводы часто подвергаются динамическим воздействиям в виде вибраций, ударных нагрузок. При жестком соединении труб, например, фланцевом или резьбовом, при таких воздействиях возможно разуплотнение. Гибкие и самоуплотняющиеся муфты фирмы STRAUB гарантируют надежное соединение. При этом эффект уплотнения и сцепления по оси пропорционален давлению в трубопроводе. Дополнительно к этому муфты воспринимают угловые смещения труб. Даже если возникнут ударные нагрузки или многократно увеличивается давление, соединение сохраняет герметичность. Разрывные усилия муфта вос-

принимает благодаря упругим деформациям отдельных деталей. В результате, в любых условиях эксплуатации не требуется сервисное обслуживание. Кроме того, муфты компенсируют вибрацию и звуковые волны. Все эти свойства подтверждены многочисленными сертификатами.

**Область применения.** Благодаря высокой надежности и экономичности муфты фирмы STRAUB применяются как на гражданских судах, так и военных кораблях, а также на морских буровых установках. Они используются при формировании новых трубопроводов, в случае изменения их схемы, при ремонте; они пригодны для всех судовых систем и труб из различных материалов, используемых в судостроении. Так, фирма HDW с 1979 г. успешно применяет эти муфты. Судходная компания Carl Carstens применяет их в следующих системах: питьевой воды, балластной, пожаротушения и топливной.

Фирма STRAUB предлагает широкую гамму муфт с встроенным механизмом сцепления труб или без него, для соединения труб из пластика (или металла и пластика), а также для ремонтных работ, которые можно проводить быстро и надежно непосредственно на борту судна. Муфты поставляются для труб диаметром от 26,9 мм до 2000 мм, на давление от 10 до 40 бар.

## ИМПУЛЬСНЫЕ ИСТОЧНИКИ ПИТАНИЯ СУДОВЫХ СИСТЕМ АВТОМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Г. П. Петров, докт. техн. наук (ВМИИ), К. Л. Козловский,  
Д. В. Тогатов (ЗАО «Инари-Технологии»), А. И. Петров (СПбГУ)

УДК 621.311.6:681.527.7:629.5

Современное судно с позиций системного анализа представляет собой сложную иерархическую систему, состоящую из большого числа подсистем и комплексов, значительная часть которых характеризуется высокой степенью автоматизации. Для эффективной организации межсистемных взаимодействий и автоматизации отдельных процессов на судах широко используется вычислительная техника, как цифровая, так и аналоговая. К современным судовым системам автоматики и вычислительным комплексам (объединим их в рамках статьи общим термином — электронные устройства) предъявляется ряд жестких требований, важнейшие из которых количественно определяются надежностными и массогабаритными показателями. Кроме того, электронные устройства (ЭУ) должны удовлетворять требованиям электромагнитной совместимости.

Важнейшим составным элементом любого ЭУ является источник питания. Все используемые источники питания можно разделить на две группы: первичные и вторичные. На судах в качестве основных первичных источников энергии ЭУ в настоящее время используются сетевые. Гальванические элементы и аккумуляторные батареи в большинстве случаев обеспечивают резервное питание ЭУ. Процесс перевода ЭУ с основного на резервное питание сопряжен с решением задачи согласования входных параметров этих источников (токов и/или напряжений). Проблема согласования параметров между внутренними блоками и внешними устройствами ЭУ технически решается за счет применения вторичных источников энергии.

В зависимости от положенного в основу работы принципа преобразования энергии, источники питания принято делить на линейные (ЛИП) и импульсные (ИИП). Все еще широко используемые в схемах судовой автоматики ЛИП обладают рядом достоинств, наиболее существенные из которых — относительная простота, низкие выходные пульсации и шум, высокие показатели по величинам нестабильности напряжения и тока. Однако из-за использования на входе обычных трансформаторов, работающих на частотах 50(60) Гц, в рассматриваемом диапазоне мощностей (до 0,5 кВт) ЛИП имеют КПД, не превышающий 40—55%. Прин-

ципальное отличие ИИП, позволяющее улучшить КПД до 75—85%, заключается в непосредственном преобразовании выпрямленного напряжения сети переменного тока без использования первичного трансформатора. ИИП строятся в основном на базе одно- и двухтактных транзисторных преобразователей. Наибольшее распространение в ИИП получил широтно-импульсный способ регулирования. Применение современной элементной базы позволяет осуществлять преобразование энергии на частотах от 10 кГц до 10 МГц. Однотактные преобразователи чаще всего используют в схемах с обратным включением выпрямительного диода (рис. 1). Такие преобразователи обычно называют «обратноходными», так как ток в выходной обмотке трансформатора появляется после того, как транзистор уже закрыт. Преимущество ИИП, построенных на таких преобразователях, состоит в том, что они обеспечивают большой диапазон входных напряжений (до  $\pm 50\%$ ), возможность построения источников тока и стабилизаторов мощности, большую надежность от короткого замыкания в цепи нагрузки, а также меньшую стоимость по сравнению с остальными типами ИИП. К недостаткам можно отнести меньший КПД, чем у двухтактных преобразователей, и меньшую удельную мощность. Реально «обратноходные» ИИП изготавливают на мощности до 100 Вт при частоте преобразования 30—50 кГц. На основе однотактных преобразователей с прямым включением выпрямительного диода («прямоходные» источники), а также двухтактных преобразователей изготавливают ИИП на мощности от 50 до 500 Вт. Такие источники отличаются более высоким КПД, небольшими габаритами, меньшими пульсациями выходного напряжения, однако они более чувствительны к коротким замыканиям по выходу и имеют меньший диапазон входных напряжений. В настоящее время известно достаточно большое количество модификаций схем ИИП [1].

Кроме более высокого значения КПД, импульсные источники значительно превосходят ЛИП по удельным массогабаритным показателям. Еще одно важное преимущество ИИП — более широкий диапазон допустимых изменений напряжений на их входе — до  $\pm 20\%$  номинального значения при прак-

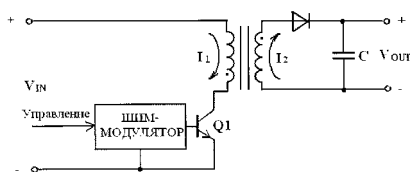


Рис. 1. Типовая схема «обратноходового» преобразователя, используемого в импульсных источниках питания

тически неизменном КПД, что весьма актуально при работе ЭУ в автономных судовых электроэнергетических системах (ЭЭС). Для компьютерных применений существенным достоинством ИИП по сравнению с линейными аналогами является и более длительное время переходных процессов, характеризующихся временем удержания источника.

По роду входного и выходного напряжения (тока) различают три типа источников питания, как первичных, так и вторичных:

- преобразователь — переменный/постоянный ток (AC—DC);
- преобразователь — постоянный/постоянный ток (DC—DC);
- преобразователь — постоянный/переменный ток (DC—AC).

В технической литературе за первыми двумя типами преобразователей исторически укоренился термин конвектор, последний тип обычно называют инвертором. Все они могут быть исполнены и как импульсные источники напряжения, и как импульсные источники тока.

В настоящее время выпуск ИИП занимает значительную долю мирового рынка электроники. По оценке зарубежных экономистов, в этом десятилетии он составляет около 8 млрд дол. ежегодно [2]. В последние годы выпуск ИИП осваивается и отечественной промышленностью. При этом создаваемые образцы при значительно более низкой стоимости не уступают зарубежным аналогам по основным техническим характеристикам, а по ряду позиций и превосходят их. В этой связи уместно вспомнить, что отечественное судостроение, и особенно кораблестроение, всегда ориентировалось на внутреннего производителя.

Для судовых ЭУ применение ИИП сулит, прежде всего, улучшение массогабаритных показателей — приблизительно до значений 120—250 против 25—30 Вт/дм<sup>3</sup> у линейных источников (рис. 2, кривая 1). Более того, для созданных ЗАО

«Инари-Технологии» источников серии ВР, предназначенных для работы в ЭУ с искусственным (воздушным) охлаждением, эти показатели могут быть существенно улучшены (рис. 2, кривая 2).

Несмотря на то, что источники серий BASE и ВР относятся к разряду конвекторов (AC/DC), благодаря наличию на входе выпрямительных мостов они обеспечивают нормальное функционирование при питании как от сети переменного, так и постоянного тока (при соблюдении приблизительного равенства действующих значений входных напряжений). Это свойство источников особенно ценно для ЭЭС двойного рода тока (подводные лодки).

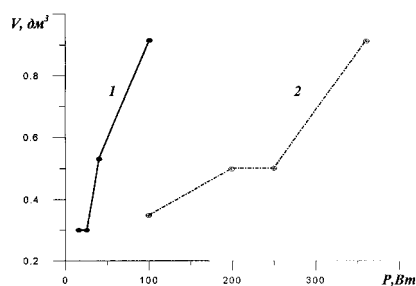


Рис. 2. Зависимости габаритных характеристик (объема) импульсных источников, выпускаемых ЗАО «Инари-Технологии», серии BASE (1) и ВР (2) от их номинальной мощности

Отмеченные преимущества ИИП, хотя и являются существенными, не могут рассматриваться как достаточные для широкого внедрения ИИП в качестве источников питания судовых ЭУ. Для более аргументированного ответа на этот вопрос на кафедре электрооборудования корабля Военно-морского инженерного института (ВМИИ) совместно со специалистами ЗАО «Инари-Технологии» проведены испытания, позволившие с большей степенью обоснованности судить о надежностных характеристиках и оценить некоторые показатели электромагнитной совместимости ИИП.

В качестве объектов исследования были определены первичные ИИП перечисленных выше типов, а также вторичные ИИП типов SMALL, MIDDLE (рис. 3) и 2ТАКТ с входными напряжениями 12 и 27 В и стабилизированным напряжением на выходе 5 В, которые, по отзывам специалистов, хорошо зарекомендовали себя в электронных схемах спект-



Рис. 3. Импульсный источник питания MIDDLE-30 мощностью 30 Вт,  $U_{вх} = 27 В$ ,  $U_{вых} = +5, \pm 18 В$

ральных приборов, выпускаемых ОАО «ЛОМО».

Испытания проводились путем замены штатных ЛИП, используемых в системах автоматики ЭЭС судна и тренажерах (как с аналоговыми, так и с цифровыми блоками), имитирующих работу ЭЭС, на ИИП с соответствующими параметрами. Кроме того, оценивалась возможность работы ИИП в некоторых узлах автоматики судовых электроприводов и корабельных автоматических телефонных станций. Для ряда образцов ИИП специально создавались экстремальные условия работы, соответствующие ситуации запаривания отсека судна. Работа некоторых источников проверялась в условиях повышенной вибрации. В ходе проводимых исследований моделировались наиболее характерные переходные режимы работы автономной судовой сети: включение синхронных генераторов на параллельную работу, пуск мощных потребителей энергии, сброс нагрузки и др. Анализ полученных результатов показал, что в период испытаний на всех объектах не было отмечено случаев отказа или ложных срабатываний систем по причинам, связанным с ненадежной работой ИИП.

Оценка работы источников по некоторым параметрам ЭМС — показателям качества электроэнергии на входе и выходе ИИП — позволила установить, что по степени влияния на ЭЭС ИИП (рассматриваемого диапазона мощностей) аналогичны ЛИП. Трудность оценки выходных параметров ИИП заключалась в том, что в отличие от ЛИП, оцениваемых по среднеквадратичным значениям гармоник выпрямленного напряжения, импульсные источники принято оценивать по максимальному значению амплитуды между пиками выходного напряжения. Известно, что теоретически ИИП обладают более сильным шумовым фоном выходного напряжения [3]. Этот факт был от-

мечен и в ходе проведенных натурных испытаний. Однако схемные решения, разработанные и внедренные в ИИП специалистами «Инари-Технологии», позволили минимизировать их до уровней, сопоставимых с характеристиками линейных источников.

Таким образом, можно констатировать, что в рамках проведенных испытаний не выявлено принци-

альных препятствий для использования ИИП в системах судовой автоматики и вычислительных комплексах. Учитывая большой объем применения источников питания на судах, есть основания предположить, что за счет внедрения ИИП возможен существенный суммарный выигрыш в массогабаритных показателях судовых ЭУ.

#### Литература

1. Высокочастотные транзисторные преобразователи/Э. М. Ромаш, Ю. И. Драбович, Н. Н. Юрченко, П. Н. Шевченко. М.: Радио и связь, 1988.
2. Power Supply (Product Handbook, 1996—1997) — Computer products, Power Conversion, 1996.
3. Борисевич А. И., Мелешин В. И. Комплексное шумопонижение в низковольтных транзисторных преобразователях постоянного напряжения//Электротехника. 1996. № 12.

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ УПРУГИХ И ДЕМПФИРУЮЩИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПЛАВУЧЕГО ПРОВОДА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО В СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМАХ СВЯЗИ

**В. И. Высоцкий**, канд. техн. наук (СПбБГТУ), **Н. С. Иваненко** (КБ «Связьморпроект»), **Б. К. Коровичев**, канд. техн. наук (ООО «Мир»), **Е. М. Никифоров**, канд. техн. наук (ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова) УДК 532.511:621.315.27-752

Одна из основных причин помех в диапазоне сверхнизких частот, возникающих при движении плавучего провода (ПП) в жидкости, — пульсации давлений в турбулентном пограничном слое, вызывающие его высокочастотную вибрацию. Опыт эксплуатации систем связи с ПП показывает, что индуцируемые движением провода помехи являются доминирующими. Для точной оценки уровня помех необходимо решение уравнения поперечных колебаний ПП как протяженной цилиндрической конструкции при случайном характере воздействия гидродинамической нагрузки, вызванной пульсациями давления. Однако в уравнение движения ПП входит ряд характеристик, которые могут быть определены только экспериментальным путем. В первую очередь это относится к демпфирующим характеристикам ПП, определению которых, в основном, и посвящена данная статья.

Известно, что существующие полуэмпирические методы позволяют лишь весьма грубо оценить амплитуды высокочастотной поперечной вибрации цилиндрических конструкций (проводов, кабелей) в осевом потоке жидкости, возникающей вследствие пульсации давлений в турбулентном пограничном слое вблизи поверхности цилиндра [1—3]. Поэтому наряду с полуэмпирическими зависимостями, служащими для оценки среднеквадрати-

ческих значений амплитуд поперечной вибрации ПП в потоке, для указанной цели целесообразно использовать приближенный метод, основанный на рассмотрении гибкого цилиндра как стержня, подверженно-го действию растягивающей силы.

Уравнение движения однородного ПП, описывающее его поперечную вибрацию, можно записать в виде [4]

$$\tilde{E}J \frac{\partial^4 y}{\partial z^4} - \frac{\partial}{\partial z} \left[ T(z) \frac{\partial y}{\partial z} \right] + m \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = f(z, t),$$

где  $\tilde{E}J$  — жесткость ПП на изгиб;  $T(z)$  — переменная по длине осевая растягивающая сила, вызванная гидродинамическими силами трения;  $m$  — полная масса ПП на единицу длины, учитывающая собственную массу и присоединенную массу жидкости;  $y(z, t)$  — амплитуда поперечного смещения линии центра ПП в зависимости от времени и положения

вдоль провода;  $f(z, t)$  — распределенная по длине гидродинамическая нагрузка от пульсаций давлений в пограничном слое ПП, имеющая случайный характер.

В этом уравнении рассеяние энергии, ограничивающее амплитуды поперечных колебаний, учитывается приближенно путем введения в уравнение комплексного модуля упругости  $\tilde{E}$ :

$$\tilde{E} = E_{\text{пр}} (1 + j\varepsilon),$$

где  $E_{\text{пр}}$  — модуль нормальной упругости;  $\varepsilon$  — коэффициент демпфирования (определяется экспериментально).

С целью определения модуля нормальной упругости  $E_{\text{пр}}$ , входящего в последнюю формулу, рассмотрим конструкцию ПП, представленную на рис. 1 и имеющую характерные размеры, приведенные в табл. 1.

Предполагая, что в направлении оси  $Z$  механические свойства отдельных компонентов ПП различные, но деформации растяжения материалов одни и те же, по закону Гука имеем

$$E_{\text{пр}} = \frac{\sum_{i=1}^n E_i F_i}{\sum_{i=1}^n F_i},$$

где  $E_i F_i$  — модуль Юнга и площадь поперечного сечения отдельного ( $i$ -го) компонента ПП.

Таблица 1

### Размеры и характеристики элементов ПП диаметром 25 мм

Элементы	Размеры (толщина или диаметр), мм	Модуль Юнга материала ПП, МПа
Токопроводящая сталежелезная жила, содержащая одну медную жилу в центре и повив из семи стальных луженых или оцинкованных проволок	$\varnothing_{\text{ж}} 0,67$ $\varnothing_{\text{ж}} 0,5$ $\varnothing_{\text{ст}} 1,668$	Медь — $13 \cdot 10^4$ Сталь — $20 \cdot 10^3$
Изоляция жилы (полиэтилен)	1,15	Полиэтилен — 120—260
Кордель полиэтиленовый	$\varnothing 4$	То же
Защитный полиэтиленовый шланг	1,7	»

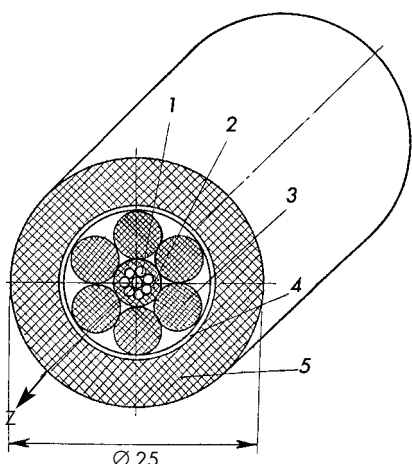


Рис. 1. Поперечное сечение элемента плавучего провода:

1 — токопроводящая жила; 2 — изоляция токопроводящей жилы; 3 — полиэтиленовый кордель; 4 — лавсановая пленка; 5 — защитный полиэтиленовый шланг

Применительно к рассматриваемой конструкции ПП  $E_{пр} = 11 \cdot 10^2$  МПа.

Вследствие рассеяния энергии в материале и конструкции плавучего провода, а также в окружающую среду, амплитуды вынужденных колебаний ПП в потоке жидкости ограничены по величине. Часто для оценки демпфирующей способности кабелей, тросов и проводов используется логарифмический декремент колебаний  $\delta$ , который связан с коэффициентом демпфирования простой зависимостью  $\epsilon = \delta/\pi$ . Логарифмический декремент часто определяется по формуле

$$\delta = (1/n) \ln (a_i/a_{i+n}),$$

где  $a_i, a_{i+n}$  — амплитуды колебаний  $i$ -го и  $(i+n)$ -го циклов, замеренные по развертке свободных затухающих колебаний провода;  $n$  — число циклов.

Это наиболее простой метод определения  $\delta$  из применяемых в инженерной практике. К сожалению, он обладает рядом недостатков, к числу которых можно отнести: трудность возбуждения высшего тона колебаний (количество полуволн по длине провода) ПП и записи их затухания; невозможность определения демпфирующих свойств для высоких тонов, имеющих близкие частоты свободных колебаний; невозможность добиться чистой записи затухающих колебаний при больших амплитудах, когда для сложных конструкций ПП имеют значение различного рода нелинейности.

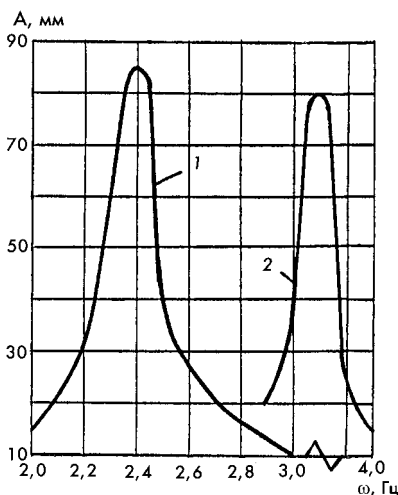


Рис. 2. Амплитудно-частотная характеристика колебаний провода в воздухе при натяжении 441 Н (1) и 932 Н (2) соответственно: 1 — I тон, 2,4 Гц; 2 — I тон, 3,1 Гц.

По указанным причинам этот метод применяется лишь для оценки логарифмического декремента, соответствующего основному тону колебаний, для которого влияние нелинейностей сказывается наиболее слабо, а частота второго и последующих тонов существенно отличается от частоты основного тона.

На практике при определении логарифмического декремента чаще применяется резонансный метод, для использования которого при оценке  $\delta$  требуется знание резонансной частоты и ширины резонансного пика. Основным преимуществом этого метода является возмо-

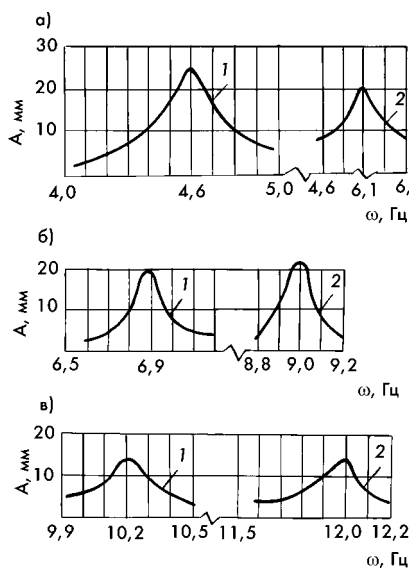


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика колебаний провода в воздухе при его натяжении 441 Н (1) и 932 Н (2) соответственно: а — для тона II; б — для тона III; в — для тона IV

жность возбуждения любого тона свободных колебаний, что позволяет установить зависимость  $\delta$  от частоты колебаний.

Для определения логарифмического декремента  $\delta$  по экспериментально построенным амплитудно-частотным характеристикам использовалась формула [5]

$$\delta = (\pi/\sqrt{3}) (N_2 - N_1)/N_0,$$

где  $N_0$  — частота колебаний, соответствующая максимальному значению амплитуды;  $N_1, N_2$  — частоты колебаний, при которых амплитуды уменьшаются до половины значения резонансной амплитуды.

Резонансные колебания ПП возбуждались электромагнитом. Образец испытываемого провода длиной 10 м натягивался с помощью рычажного устройства в специальной ванне, размещенной между полюсами электромагнита таким образом, чтобы в невозмущенном положении он располагался в центре междуполюсного пространства электромагнита. При протекании тока через специальную медную обмотку, установленную на наружной поверхности образца в районе полюсов электромагнита, возникала сила взаимодействия электрического тока с магнитным полем, действующая в проходящей через провод вертикальной плоскости и направленная вверх или вниз в зависимости от направления тока. Задавая различные значения тока в обмотке с помощью специального инвертора, можно было изменять величину и направление силы, действующей на провод в вертикальной плоскости, возбуждая таким образом колебания провода. Для регистрации амплитуды вибрации провода при изменении частоты возбуждения и построения зависимости размаха колебаний  $A = f(\omega)$  для ПП использовались датчики ускорений с регистрирующей аппаратурой. По измеренным значениям амплитуд ( $A = 2a$ ) и частот вибрации ( $\omega$ ) были построены резонансные кривые для четырех тонов — I, II, III и IV (рис. 2—4), по которым определялись значения логарифмического декремента  $\delta$ . Результаты испытаний провода длиной 10 м и диаметром 25 мм для двух значений натяжения 441 и 932 Н в воздухе и для натяжения 932 Н в воде приведены в табл. 2.

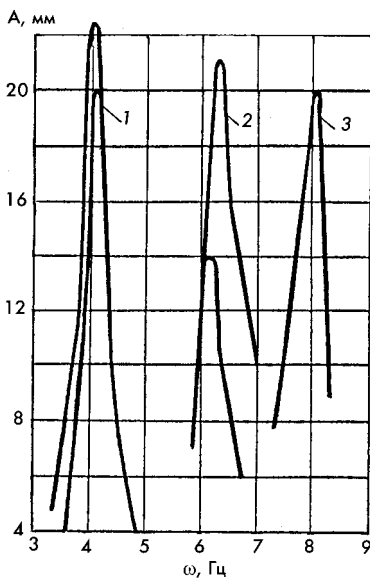


Рис. 4. Амплитудно-частотные характеристики колебаний плавучего провода в воде при натяжении 932 Н для тона II (1), III (2) и IV (3)

На основании экспериментальных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Логарифмический декремент колебаний δ в воде при резонансе не зависит от амплитуды колебаний (если  $a/d < 1,0$ , где  $d$  — диаметр провода), их формы и длины волны. Значения логарифмического декремента для четырех тонов свободных колебаний в воде при натяжении 932 Н (около 25% от разрывного) составляют 0,16—0,25.

Таблица 2

Значения логарифмического декремента δ

Номер тона	Колебания ПП при натяжении, Н					
	в воздухе				в воде	
	441		932		932	
	ω, Гц	δ	ω, Гц	δ	ω, Гц	δ
I	2,4	0,172	3,1	0,1	2,0	—
II	4,6	0,11	6,1	0,05	4,1	0,22
III	6,9	0,05	9,0	0,032	6,1	0,23
IV	10,2	0,058	12,0	0,036	8,0	0,16

2. Значения логарифмического декремента для испытанного ПП в воздухе вначале с ростом номера тона (увеличением частоты) уменьшаются (~до 7 Гц), а затем остаются практически постоянными ( $\delta \approx 0,03...0,05$ ) (рис. 5). Такой характер зависимости δ, возможно, связан с тем, что при малых частотах и больших амплитудах, соответствующих первому тону ( $\omega \approx 2$  Гц), в ПП преобладают силы сухого трения.

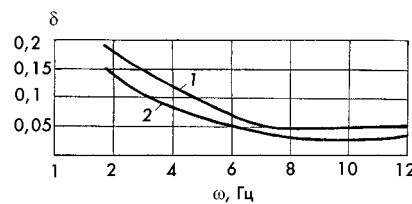


Рис. 5. Зависимость логарифмического декремента от частоты колебаний провода в воздухе при натяжении 441 (1) и 932 Н (2) соответственно

3. С увеличением предварительного статического натяжения логарифмический декремент колебаний уменьшается. Особенно это заметно для низких тонов колебаний.

4. Результаты данной работы могут позволить более точно определить уровень помех в системах связи с плавучим проводом в условиях высокочастотной вибрации в воде.

**Литература**

1. Reavis J. R. Vibration correlation for maximum fuel element displacement in parallel turbulent flow//Nuclear Science and Engineering. 1969. Vol. 38.
2. Paidoussis M. P. An experimental study of vibration of flexible cylinders induced by nominally axial flow//Nuclear Science and Engineering. 1969. Vol. 35.
3. Paidoussis M. P. Fluidelastic Vibration of Cylinder. Arrays in Axial and Cross Flow//State of Art, Journal of Sound and Vibration, 1981. Vol. 76. N 3.
4. Burrows M. L The submarine-towed ELF loop antenna//Radio Science. 1976. Vol. 11. N 4. April.
5. Справочник по строительной механике корабля. Т. 3. Л.: Судпромгиз, 1965.

**Подписка на журнал «СУДОСТРОЕНИЕ»**

Подписка на журнал «Судостроение» в России и СНГ может быть оформлена в почтовых отделениях. Журнал включен в каталог «Газеты, журналы» агентства «Роспечать». Его индекс — 70890.

Журналы также можно заказать непосредственно в редакции (в том числе прошлые выпуски), прислав подписной талон с копией платежного поручения или почтового перевода.

Стоимость одного номера с учетом почтовых расходов 55 руб. Всего в 1999 г. будет выпущено 6 номеров.

**РЕКВИЗИТЫ ДЛЯ ОПЛАТЫ:**

Получатель — ЦНИИТС (198095, Санкт-Петербург, ул. Промышленная, дом 7. Тел. 812-1862650) — для журнала «Судостроение». Банк: филиал Банка Внешней Торговли в Санкт-Петербурге (190000, Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, д. 29), БИК 044030733, к/с 30101810200000000733, р/с рублевый 40502810500000000024. ИНН 7805028153. Код ОКОНХ 95120. Код ОКПО 07502259.

FORIGN SUBSCRIPTIONS are accomplished at ZAO «МК-Periodika» (Russia, 117049, Moscow, ul. Bolchaya Jakimanka, 39. Tel.: (095) 238-49-67. Fax: (095) 238-46-34. E-mail: info@mkniga.msk.su).

**ПОДПИСНОЙ ТАЛОН**

Прошу оформить подписку на журнал «Судостроение» с № \_\_\_\_\_ по № \_\_\_\_\_ 199 г. включительно.

Количество комплектов \_\_\_\_\_ Стоимость 1 номера с учетом почтовых расходов — 55 руб.

Стоимость подписки \_\_\_\_\_

Адрес для доставки журналов: \_\_\_\_\_

Ф.И.О. подписчика \_\_\_\_\_

Организация \_\_\_\_\_ Тел., факс \_\_\_\_\_

Копия платежного поручения (почтового перевода) № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 199 г. прилагается.

Адрес редакции: Россия, 198095, Санкт-Петербург, Промышленная ул., 7. Журнал «Судостроение». Тел. (812) 1860530. Факс (812) 1860459.



## ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕРТИФИКАЦИОННОЙ ЖЕСТКОСТИ КОРПУСОВ ПОДВОДНЫХ ЛОДОК ПРИ РЕМОНТНЫХ РАБОТАХ НА ПЛАВУ

Л. П. Гаврилюк, докт. техн. наук (ГНЦ ЦНИИТС) УДК 629.5.083.5.024:629.585

Согласно действующим нормам, при ремонте подводных лодок (ПЛ) на плаву допускается вскрывать не более одного съемного листа (СЛ). При вскрытии большего количества листов прочного корпуса необходимо соблюдать следующий порядок: вскрыть и заварить один лист, затем второй и т. д. ПЛ перед вскрытием СЛ удифферентовывают путем балластировки и в период вскрытия и сварки листа контролируют неизменность загрузки и посадки лодки по маркам углубления, а также форму корпуса (отклонение шпангоутов от заданной формы в районе СЛ, разностенность и слом обшивки и шпангоутов по стыковым и пазовым швам СЛ).

Недостатками такой технологии являются: невозможность параллельного выполнения работ в различных районах через последовательно снимаемые и устанавливаемые СЛ; отсутствие точного контроля за сохранением жесткости и прочности корпуса ПЛ на плаву, поскольку контроль посадки и удифферентовки корабля по маркам углубления относительно уровня воды характеризует состояние корпуса с большой погрешностью.

В ЦНИИТС разработана новая технология проведения работ при вскрытии нескольких съемных листов, свободная от указанных недостатков. В качестве критерия допустимости вскрытия листов принимается допустимый уровень изменения расчетно-экспериментальной характеристики жесткости корпуса, определяемый значением прогиба эквивалентного бруса корабля при нагружении его единичным моментом [1]

$$k(x) = \frac{1}{E/I(x)} = \int \int \frac{y''(x)}{\Delta M(x)} dx dx,$$

где  $E$  — модуль упругости материала корпуса;  $I(x)$  — моменты инерции сечений корпуса;  $y''(x)$  — вторая производная от изменений положения контрольных элементов упругой линии корпуса по его длине —  $y(x)$ ;  $\Delta M(x)$  — распределение дополнительного изгибающего момента, действующего на корпус при его экспериментальном нагружении по длине  $x$  корабля.

Под упругой линией корпуса корабля будем понимать линию, соединяющую отсчитанные от его основной линии прогибы (перемещения центров масс) поперечных сечений корпуса при действии на него различных сил.

Характеристика жесткости  $k(x)$  корпуса определяется до и после вскрытия СЛ. Для определения  $k(x)$  корпус следует нагрузить, например, путем подведения понтонов вначале под кормовую и носовую оконечности, а затем под среднюю часть корпуса ПЛ.

Возможно нагружение корпуса путем принятия балласта вначале в его среднюю часть, а затем перемещения его в кормовую и носовую оконечности. Общая масса принимаемого балласта должна быть одинаковой и составлять 10—15% от водоизмещения «ровного киля». Следует измерить осадку ПЛ по маркам углубления до и после каждой балластировки. Информация о загрузке корпуса и осадке ПЛ следует передать в КБ завода для определения распределения величин  $\Delta M(x)$ . До начала экспериментальной нагрузки следует установить ту или иную систему контроля упругой линии.

Контроль упругой линии выполняется в трех положениях корабля: «на ровный киль»; при подведении двух понтонов к средней части корпуса (или нагружении балластом средней части корпуса); при подведении этих же понтонов к носовой и кормовой оконечностям корпуса (или нагружении их балластом).

По результатам измерений упругой линии следует получить распределение прогибов  $y(x)$  и, дважды дифференцируя, рассчитать  $y''(x)$ . На основании известных зависимостей  $\Delta M(x)$  и  $y''(x)$  рассчитывается методами численного дифференцирования и интегрирования распределение  $k(x)$ . Если сечения эквивалентного бруса ПЛ при вскрытиях существенно не изменялись, то не должно существенно измениться и распределение  $k(x)$ . Критерием значительных изменений является 15—20%-ный уровень изменений распределения  $k(x)$ . Если  $k(x)$  изменилось несущественно, а  $y(x)$  упругой линии корабля значительно при равных условиях нагружения его и температуре воздуха и воды, это свидетельствует о существенных внутренних напряжениях в корпусных конструкциях корабля, что отрицательно скажется на его прочности в эксплуатации. Аналогично это имеет место и в случае, если существенно изменилось  $y(x)$  при несущественном изменении  $k(x)$ . О наличии внутренних напряжений можно судить также по изменению формы прочного корпуса в районах вырезов СЛ и формы самих СЛ при их снятии и установке.

Существенное изменение  $k(x)$ , пропорциональное изменению  $y(x)$  с коэффициентом пропорциональности  $\Delta M(x)$ , свидетельствует об изменении жесткости корпуса  $EI(x)$ . При неблагоприятных изменениях  $y(x)$  или  $k(x)$  следует до вскрытия последующих листов установить технологические подкрепления. Определение критерия  $k(x)$  после крепления на сварке всех листов позволяет проконтролировать обеспечение после ремонта исходной жесткости корпуса корабля и упрощает выработку обоснованных решений о необходимости введения подкреплений или каких-либо изменений в конструкции корпуса. С другой стороны, поскольку критическая нагрузка прочного корпуса ПЛ от внешнего давления есть функция его жесткости  $EI(x)$ , периодическое определение  $k(x)$  для эксплуатируемых кораблей с момента их сдачи флоту позволяет создать инструмент для обоснованной оценки эксплуатационного износа корпуса ПЛ при его сертификации. Таким образом, методика вскрытия более чем одного листа на плаву включает: установку систем контроля изменений упругой линии корпуса корабля и местных деформаций вырезов и СЛ; нагружение корпуса корабля известными силами с известным распределением по длине; контроль общих  $y(x)$  и местных деформаций до и после вскрытия первого листа; расчет критерия  $k(x)$  и определение допустимости вскрытия следующего листа, определение необходимости установки технологических подкреплений вырезов; последовательное вскрытие листов с проведением нагружения и контроля изменений  $y(x)$  и  $k(x)$ .

При установке съемных листов упругая линия корабля приводится в состояние, близкое к ее состоянию на момент вскрытия путем установки технологических подкреплений, балластировки или с помощью вывешивания на понтонах. Возможно также использование для этой цели грелок или охлаждающих батарей (изменение температуры верхних слоев корпуса). Установка технологических жесткостей является пассивно упреждающим методом, который технологически весьма трудоемок и металлоемок и основан на проведении предварительных теоретических расчетов. Фактические исходные данные для проведения расчетов по жест-

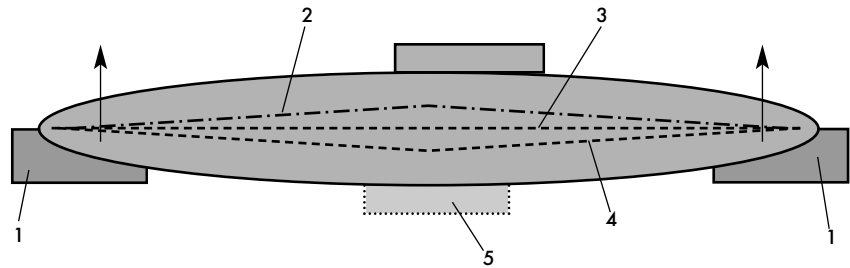


Схема приложения экспериментальной нагрузки для определения жесткости корпуса ПЛ:  
1 — понтон в положении I; 2 — контрольная линия (КЛ) при нагружении в положении II;  
3 — начальное положение КЛ; 4 — КЛ при нагружении в положении I; 5 — понтон

кости корпуса и его загрузке получить весьма сложно, а теория расчетов недостаточно совершенна, поэтому точность расчетов, как правило, не высока.

Нагрузка сравнительно жесткого корпуса ПЛ на плаву жидким или твердым балластом приводит к притоплению корабля при незначительном изменении упругой линии.

Метод управления упругой линией корабля путем изменения опорной схемы эквивалентного бруса корпуса («подвешивание» на понтонах) позволяет, с одной стороны, более точно регулировать изменение упругой линии, а с другой — обеспечить непотопляемость корабля на период ремонта. Недостатком данного метода является сложность, при малом числе понтонов, изменения загрузки корпуса. Сочетание понтонов и балласта (комбинированный метод) позволяет весьма точно регулировать упругую линию корабля.

Управление упругой линией корабля путем нагрева или охлаждения отдельных слоев эквивалентного бруса корпуса может быть очень эффективным, но требует больших затрат энергии и в настоящее время не разработано.

Упругую линию корабля наиболее удобно можно представить полиномом четвертой степени вида  $y(x) = f + ax + bx^2 + cx^3 + dx^4$ . Коэффициенты этого полинома определяются на ПЭВМ аппроксимированием результатов измерений по методу наименьших квадратов.

Основные методы контроля упругой линии корпуса корабля [2]: по районным контрольным площадкам — измерением поворотов сечений относительно базового; визирный — измерение прогибов относительно базового направления; гидростатический (гидродинамический) — определение изменений про-

гибов между сечениями; автоколлимационный — измерение поворотов сечений относительно друг друга.

Указанные методы обеспечивают, в зависимости от числа контрольных точек и применяемых средств контроля, точность 2—5 мм.

Наиболее точным является автоколлимационный метод, позволяющий исключить влияние местных деформаций переборок на результаты измерений общего изгиба корпуса корабля. Метод достаточно прост в исполнении, позволяет контролировать изменение упругой линии в двух плоскостях, при необходимости может быть автоматизирован. Недостатками являются необходимость обеспечения свободных световых каналов (свободных проходов), проблематичность контроля скручивания корпуса корабля. Как показал опыт, эти проблемы могут быть успешно решены на стадии проектирования новых ПЛ.

Метод контрольных площадок наиболее прост в реализации, особенно при использовании дифференциальных электронных уровней типа «Микрад-АК». Недостатками метода являются сложность контроля изгиба корпуса в плоскости, параллельной центральной контрольной площадке (ЦКП), учета влияния местных деформаций переборок, на которых устанавливаются районные контрольные площадки.

Гидростатический метод прост в реализации, не требует сложного оборудования и приборов. Недостатком метода является невозможность контроля изгиба корпуса в плоскости, параллельной ЦКП.

Визирный метод универсален, но требует при больших базах контроля весьма дефицитных зрительных труб большого увеличения или лазерных приборов с фоточувствительными мишенями, а также сво-

бодной от каких-либо предметов палубы.

Выбор конкретного метода и его реализация определяется конструкцией корпуса и условиями строительства, ремонта или модернизации корабля.

Контроль формы прочного корпуса в районе вырезов рекомендуется осуществлять с помощью теодолита, адаптированного для работы на плаву. Главная ось теодолита выверяется перпендикулярно ЦКП, а визирная ось его зрительной трубы устанавливается перпендикулярно главной оси. Таким образом, при вращении теодолита вокруг главной оси визирная ось формирует измерительную плоскость, параллельную ЦКП.

По крайней мере, в пяти точках, по краям съемного листа и в центре его, а также, по крайней мере, в четырех точках по контуру выреза устанавливаются реперы в виде резьбовых бобышек с коническими отверстиями. На бобышках устанавливаются и принудительно центрируются по сферам, закладываемым в конические отверстия бобышек, нивелировочные рейки. Рейки выверяются перпендикулярно

ЦКП. Кроме того, на жестком участке корпуса корабля, например, на прочной части надстройки, устанавливается контрольный репер для базирования измерительной плоскости теодолита. Далее с помощью теодолита в режиме нивелирования измеряется взаимное положение реперов съемного листа и реперов прочного корпуса в районе вырезов относительно контрольного репера на жестком участке корпуса. С помощью штихмасса и специально приспособления измеряются расстояния между реперами СЛ и вырезов. Указанные измерения выполняются до и после вскрытия вырезов, при установке СЛ на хранение, при установке и вварке СЛ.

Возможен также контроль формы СЛ и вырезов с помощью измерительных станций, оборудованных электронными теодолитами и тахеометрами. Электронные теодолиты и тахеометры должны быть адаптированы для работы на качающемся основании.

Для создания определенной формы СЛ устанавливают упреждающие технологические подкрепления или используют технологические стяжки и домкраты.

**Заключение.** 1. Разработана технология сохранения жесткостных характеристик прочного корпуса ПЛ при одновременном вскрытии нескольких съемных листов в процессе ремонта лодки на плаву. Технология включает: методы и средства контроля общих и местных деформаций корпуса; определение фактической жесткости корпуса на любом этапе ремонта; последовательность действий при вскрытии и установке съемных листов; программное обеспечение для ПЭВМ.

2. Разработана методология, которая может быть после проведения дополнительных исследований и практических работ положена в основу обоснованной сертификации корпусов ПЛ, находящихся в эксплуатации (учета эксплуатационного износа).

#### Литература

1. Гаврилюк Л. П. Расчетно-экспериментальный метод прогнозирования упругой линии корабля при постройке и ремонте // Материалы Второй международной конференции по судостроению ISC'98. ЦНИИ им. акад. А. Н. Крылова, 1998.
2. Гаврилюк Л. П. Анализ погрешностей существующих методов и средств контроля упругой линии судна на плаву // Технология судостроения. 1981. № 7.

## ВЛИЯНИЕ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ ОТ СБОРКИ И СВАРКИ МОНТАЖНЫХ СТЫКОВ НА ЦИКЛИЧЕСКУЮ ПРОЧНОСТЬ КОРПУСНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

А. В. Ильин, канд. техн. наук, В. П. Леонов, канд. техн. наук (ГНЦ ЦНИИ КМ «Прометей»), В. Н. Хвалынский, канд. техн. наук (ГНЦ ЦНИИТС)

УДК 621.791.019:539.319:629.5.023-192

Проблему сокращения трудоемкости сборки и сварки корпусных конструкций судов необходимо решать с учетом влияния технологической последовательности выполнения сборочно-сварочных операций на уровень остаточных сварочных напряжений (ОСН), от величины и характера распределения которых зависит циклическая и коррозионно-циклическая прочность конструкции корпуса. В такой постановке представляет практический интерес проблема выбора оптимальной технологии сборки и сварки монтажных стыковых соединений секций и блоков корпуса корабля (рис. 1). В традиционном варианте (вариант I),

принятом еще в 50-х годах [1], вначале последовательно собирают и сваривают стыковые соединения обшивки, а затем соединения балок набора. Предполагается, что при такой последовательности в обшивке возникают благоприятные для повышения циклической прочности конструкции сжимающие остаточные напряжения, а в пересекающих балках набора — растягивающие (что не отражается на циклической прочности конструкции в целом, так как усталостные трещины ориентируются в обшивке вдоль линии шва). Такой вариант предполагает большое количество временных приварных креплений для устранения разностен-

ности обшивки и подгонки стыкуемых кромок под сварку, а также дополнительный нагрев обшивки при выполнении пригоночных работ. Эти промежуточные операции существенно увеличивают трудоемкость выполнения работ по монтажным стыкам. По статистическим данным трудоемкость установки и последующего демонтажа временных приварных креплений при стыковании секций и блоков корпуса составляет более 20% объема всех сборочных работ.

В настоящее время в гражданском судостроении применяется также технология, по которой в первую очередь выполняется сборка и сварка стыковых соединений балок набора, пересекающего стык обшивки, а затем — сварка монтажного стыкового соединения обшивки (вариант II) [2]. Этот вариант позволяет значительно сократить объем временных приварных креплений и правочных операций, расширяется также возможность использования средств механизации при монтаже стыкового соединения. Однако применение этой технологии для цикличе-

ски тяжело нагруженных конструкций до сих пор вызывает опасения, поскольку возможно снижение усталостной прочности (монтажный стыковой шов выполняется в условиях ограничения свободной поперечной усадки, так как ей препятствует уже сваренный набор) — в этом случае следует ожидать повышения уровня растягивающих ОСН и, как следствие, снижение циклической прочности.

Как правило, обсуждение преимуществ и недостатков вариантов I и II до сих пор носит качественный характер. Поэтому представляют интерес количественные данные по уровню ОСН при различной последовательности сборки и сварки, оценка влияния этих изменений на циклическую прочность. Кроме того, при анализе следует учесть, что в варианте II возможно снижение уровня растягивающих ОСН, если сварку стыкового шва обшивки, перепущенного над монтажным стыком набора, производить до приварки набора к обшивке на этом участке. Тогда в монтажном стыковом шве имеет место промежуточный уровень ОСН, приближающийся к первому или второму варианту в зависимости от длины  $L$  перепущенного участка (см. рис. 1).

С целью решения этой задачи целесообразно выполнить расчетную оценку ОСН при указанных вариантах формирования монтажных соединений корпуса. Применение аналитических методик оценки ОСН предполагает использование ряда допущений: гипотезы плоских сечений (плоскость  $XY$ ) при остывании сварочной ванны и предположения о независимости формирования продольной  $\sigma_z$  и поперечной  $\sigma_x$  составляющих ОСН [3]. При сварке однопроходного стыкового шва это приводит к распределению напряжений (рис. 2). Составляющая  $\sigma_z$  в сварном соединении и зоне термического влияния достигает предела текучести по всей длине шва за исключением областей в начале и в конце сварного соединения. Напряжения  $\sigma_z$  компенсируются сжатием в окружающем металле; для широких свариваемых листов уровень напряжений сжатия и размер зоны, в которой они действуют, в рамках данных расчетных схем остаются неопределимыми. Составляющая  $\sigma_x$  зависит от соотношения скорости сварки и длины шва между точками

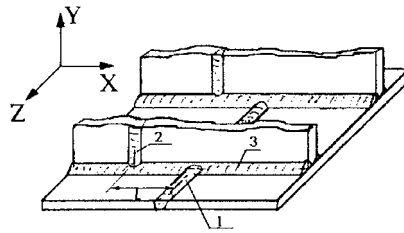


Рис. 1. Фрагмент корпусной конструкции: 1 — монтажный стыковой шов обшивки; 2 — стыковой шов набора; 3 — угловой шов соединения набора с обшивкой;  $L$  — длина незавариваемого участка шва соединения набора с обшивкой

крепления. Если предположить, что скорость сварки достаточно велика для одновременного выполнения шва, то  $\sigma_x(x, y) = 0$ . При использовании таких допущений невозможно получить сколько-нибудь удовлетворительное описание изменения ОСН от сварки стыковых соединений с пересекающим шов обшивки набором для рассматриваемых вариантов сборки (поскольку в окрестности участков резкого изменения жесткости свариваемых деталей гипотеза плоских сечений не выполняется). Кроме того, нельзя уйти и от рассмотренного лишь варианта однопроходной сварки.

Поэтому для решения сформулированной задачи единственно приемлемым является использование метода конечных элементов (МКЭ), который в рассматриваемом случае требует использования некоторых дополнительных приемов и допущений из-за фактической невыполнимости решения термомеханической задачи «сварочной» задачи в реально трехмерной постановке — необходимо сведение ее к двумерным аналогам. В настоящей работе использовался программный комплекс, алгоритм которого описан в работах [4, 5], реализующий решение термомеханической задачи в двумерной постановке для идеально упруго-пластического тела. Расчеты выполнялись применительно к стали с пределом текучести  $\sigma_{02} = 500$  МПа, предполагалось отсутствие гистерезиса прямого ( $\alpha \rightarrow \gamma$ ) и обратного ( $\gamma \rightarrow \alpha$ ) фазового перехода при термическом цикле сварки, что позволяет получить достаточно точные результаты для судокорпусных сталей с  $\sigma_{02} \leq 500$  МПа. Алгоритм приспособлен для моделирования пошагового заполнения металлом сварочной ванны. Это дает возможность имитировать многопроходную сварку при

рассмотрении задачи в плоскости  $XY$  в предположении об одновременном выполнении каждого прохода по всей длине шва и неизменной податливости свариваемых элементов вдоль оси  $Z$  или рассматривать вариант однопроходной сварки в плоскости  $XZ$ , что позволяет анализировать неодновременность выполнения сварки и изменение податливости по оси  $Z$ . Решение трехмерной задачи тогда может быть обеспечено сочетанием обоих двумерных решений; т. е. для многопроходной сварки в плоскости  $XZ$  производится как для «квазиоднопроходной», при которой моделируется тепловложение, обеспечивающее поперечные свободные усадочные перемещения, равные найденным при решении задачи в плоскости  $XZ$  при отсутствии закреплений свариваемых элементов.

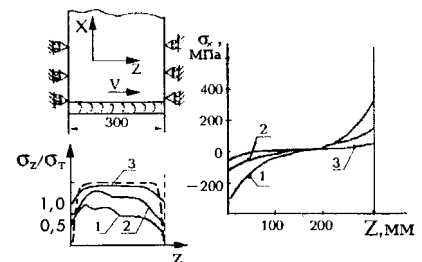


Рис. 2. Оценка приемлемости допущения об одновременности выполнения прохода по всей длине сварного соединения при скорости сварки 0,1 м/ч (1), 0,25 м/ч (2), 0,6 м/ч (3); — — — аналитическое решение для продольной составляющей ОСН  $\sigma_z$

Расчетные оценки ОСН выполнялись применительно к сварке полотноща варьированной толщины с расстоянием между пересекающим его стык набором 300 мм. Рассматривался фрагмент шва длиной 500 мм (по 100 мм с каждой стороны от края свариваемого полотна до ребра жесткости). Ребра жесткости моделировали введением слоев элементов, пересекающих шов, увеличенной толщины: использовалось соотношение толщин 26:1, что имитировало приварку полособулбы и соответствовало обычно используемой пропорции между площадями сечения обшивки и набора. Промежуточный вариант с перепусканием ребра жесткости над стыковым швом без его приварки имитировалось введением элементов с нулевой жесткостью (щели) варьированной длины  $L$  по контуру утолщенных элементов. Для обоснования возможности при-

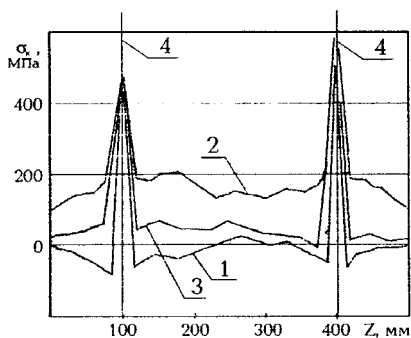


Рис. 3. Распределение компоненты ОСН  $\sigma_x$  по длине монтажного стыка при различных вариантах приварки поперечного набора (1, 2, 3), 4 — линия установки набора

менения в данном случае гипотезы одновременного заполнения разделки применительно к сварке соединения без набора рассматривалось поэтапное заполнение разделки при варьируемой длине мгновенно заполняемого участка  $l$  и варьируемом времени между заполнениями; моделируемая при этом скорость сварки составляла  $v = l/t$ . Граничные условия соответствовали запрещению поворотов свариваемых листов при разрешении поперечных усадочных перемещений (имитация временных прихваток). При  $v > 0,6$  м/ч значения  $\sigma_x$  практически равны нулю по всей длине шва. Отличные от нуля значения  $\sigma_x$  (см. рис. 2) в начале и конце шва реализуются лишь при отношении длины шва между точками крепления к скорости сварки порядка 2000 с. Поскольку такая ситуация практически нереальна, при дальнейшем анализе предполагалось мгновенное выполнение прохода по всей длине монтажного шва. Результаты расчета МКЭ для однопроходных сварных соединений при моделировании сварки набора после сварки стыка обшивки 1, а также сварки обшивки после полностью приваренных ребер жесткости ( $L = 0$ ) 2 и при наличии неприваренных участков ( $L = 100$  мм) 3 представлены на рис. 3. Здесь рассматривается лишь изменение  $\sigma_x$  вдоль кромки шва, поскольку именно ее значение влияет на циклическую прочность при усталостном разрушении в зоне сопряжения металла шва с основным металлом. Получено, что в варианте I существенного образования зон сжатия на фронте монтажного стыка не происходит и может быть принято:  $\sigma_x = 0$ . В варианте II, как и ожидалось,

происходит возрастание уровня  $\sigma_x$  до 150–200 МПа по всему пролету между ребрами жесткости при наличии пиковых значений до  $\sigma_{02}$  у каждого из ребер. Однако зона действия столь высоких ОСН локализована на участках, не превышающих одну–две толщины ребра жесткости. Для промежуточного варианта сборки 3 значение  $\sigma_x$  снижается почти до уровня варианта I. Результат варьирования длины непривариваемого участка  $L$  представлен на рис. 4, где зависимость  $\sigma_x(L)$  имеет вид приблизительно  $1/L$ , и перепуска перпендикулярного стыку набора около 150 мм вполне достаточно, чтобы снизить уровень остаточных напряжений до нуля. При выполнении монтажного стыка многопроходной сваркой различие максимальных значений ОСН для обоих вариантов сборки может лишь уменьшаться, поскольку с увеличением числа проходов возрастает уровень собственных ОСН в усилении сварного шва вне зависимости от граничных условий задачи — при числе проходов более шести он достигает предела текучести. Однако ограничение поперечной усадки шва в варианте II сборки приводит к распространению зоны растягивающих ОСН на все сечение соединения. Поэтому следует рассматривать эти дополнительные напряжения как «реактивные» неуравновешиваемые, в отличие от собственных ОСН по сечению соединения [6]. Совмещение результатов расчета свободных усадочных перемещений при рассмотрении задачи в плоскости XY с моделированием их ограничения приваренным перпендикулярно оси стыка набором в плоскости XZ позволило

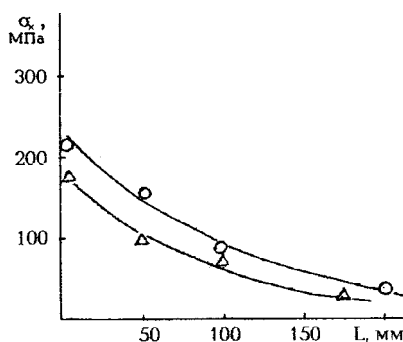


Рис. 4. Зависимость реактивной составляющей ОСН на середине пролета между балками набора от величины перепуска  $L$ :  $\Delta$  — сварка в один проход;  $\circ$  — сварка в шесть проходов

получить зависимость уровня реактивных напряжений посреди пролета между ребрами жесткости от величины  $L$  при толщине листа 25 мм и выполнении сварного шва монтажного стыкового соединения в шесть проходов. Выявлено, что для снижения уровня ОСН по варианту I необходимо увеличить длину перепуска до 200 мм (по-видимому, эта величина должна устанавливаться как пропорциональная сечению балок набора).

Рассматривая условия нагружения обшивки с пересекающимся набором в составе корпуса, следует отметить, что различия циклической прочности монтажных стыковых соединений в вариантах I и II выполнения сборки могут и не выявляться. Циклическая прочность конструкции всего корпуса при растяжении, изгибе или кручении обычно может лимитироваться прочностью зон наиболее высокой концентрации напряжений — обычно это швы пересечения балок набора, окончания книц, углы вырезов и т. д. При приложении распределенной нагрузки (давления) к отдельным пластинам обшивки в более нагруженном состоянии находятся угловые швы контура пластин, и разрушения следует ожидать именно в этих зонах. Тем не менее, в ряде ситуаций циклическая прочность стыковых швов должна учитываться, например, при воздействиях сосредоточенных нагрузок на полотно обшивки, для высоконагруженных оболочечных конструкций (пазовые швы) и т. д. До настоящего времени оценка влияния уровня ОСН на циклическую прочность сварных соединений основывалась лишь на результатах исследовательских работ и не отражалась в нормативных документах по проектированию с учетом усталости. Так, в методиках судостроительных классификационных обществ [7, 8] положение кривых допускаемых циклических напряжений определяется лишь типом соединения и, в меньшей степени, его толщиной, т. е. постулируется, что при расчетах предполагается «предельно высокий» уровень ОСН, свойственный всем соединениям сварных нетермообработываемых конструкций. Подобный подход не позволяет оценивать эффективность мероприятий по повышению работоспособности конструкций. Так как приводимые в методиках теоретические

кривые соответствуют нижним огибающим больших массивов экспериментальных данных, включающих, по-видимому, и сварные образцы с действительно высоким уровнем ОСН, то они должны больше соответствовать варианту II сборки. На рис. 5 приведена кривая допускаемых циклических напряжений для соединения класса E при нагружении на воздухе (к этому классу относятся стыковые соединения, нагружаемые перпендикулярно линии шва) [7], которая действительно хорошо соответствует данным отечественной литературы для стыковых соединений с высоким уровнем ОСН. В то же время при низком уровне ОСН разрушающие напряжения на базе  $10^6 \dots 10^7$  циклов могут быть приблизительно в 1,5 раза выше, чем это следует из данной зависимости [9]. Однако часто фактически рассматривается совместное влияние сразу нескольких факторов: сопоставляются кривые циклической повреждаемости соединений различной геометрии или различных толщин — при этом результат определяется различием не только уровня ОСН, но и коэффициентов концентрации эксплуатационных напряжений в околошовной зоне.

В данной работе для подобных сопоставлений используется расчетный метод, основанный на моделировании процесса циклического повреждения и проводимый с учетом конструктивных и технологических факторов [10, 11], а также анализируются некоторые результаты усталостных испытаний сварных соединений с варьируемой асимметрией цикла нагружения, имитирующей воздействие реактивных напряжений. Расчеты проводятся с учетом кинетики развития микро- и макротрещин в концентраторах формы шва. Поэтому результаты расчетов зависят не только от предполагаемого максимального уровня ОСН, но и от характера распределения напряжений по сечению концентратора, различающегося для соединений с высоким и низким

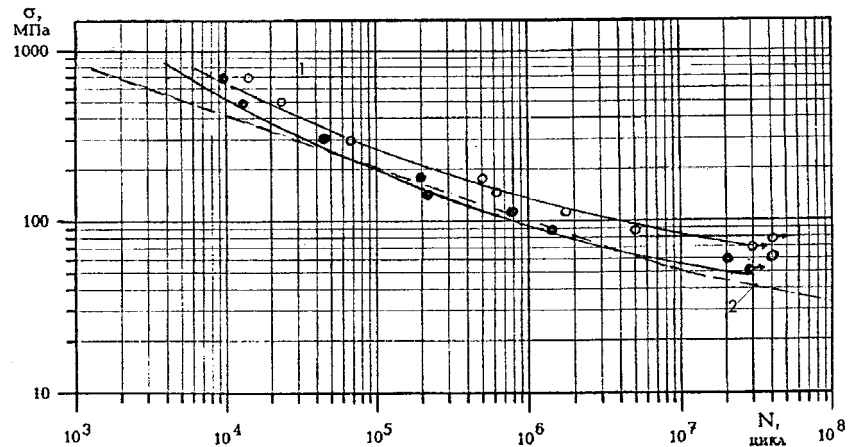


Рис. 5. Прогнозируемая циклическая прочность монтажных стыков в вариантах сборки I и II: 1 — результаты расчета по [10]; 2 — допускаемые циклические напряжения для сварных соединений класса E по [7]; ○, ● — результаты испытаний образцов со стыковым швом при  $\sigma_{\min} = 0$  и  $\sigma_{\min} = 200$  МПа, соответственно

уровнем реактивных напряжений, даже если уровень максимальных собственных ОСН в том и другом случае предельно высок. Результаты расчета для стыковых сварных соединений, выполненных при нулевом уровне реактивных напряжений (вариант I) и уровне ОСН, полученном для варианта II сборки, а также результаты циклических испытаний на отнулевое и знакоположительное (с минимальными напряжениями 200 МПа) растяжение образцов со стыковым швом — последний режим нагружения моделирует вариант II (см. рис. 5) — показывают удовлетворительную сходимость расчетных и экспериментальных данных: в области ограниченной долговечности количество циклов до разрушения различается для вариантов I и II сборки в 2—3 раза, а разрушающие напряжения на базе  $10^7$  циклов (ограниченный предел выносливости) — в 1,7 раз. Подобные различия представляются достаточно значимыми для того, чтобы рекомендовать промежуточный вариант сборки с перепуском неприваренных к обшивке концевых участков ребер жесткости для циклически тяжелонагруженных конструкций.

#### Литература

1. Мацкевич В. Д. Сборка и сварка корпусов судов. Л.: Судостроение, 1968.

2. Шатилов В. А. Новый технологический процесс сборки и сварки стыковых монтажных соединений корпуса судов // Технология судостроения. 1987. № 11.
3. Окерблом Н. О. Сварочные деформации и напряжения. Теория и ее применение. М.: Машгиз, 1948.
4. Махненко В. И. Расчетные методы исследования кинетики сварочных напряжений и деформаций. Киев: Наукова думка, 1976.
5. Карзов Г. П., Марголин Б. З., Швецова В. А. Физико-механическое моделирование процессов разрушения. СПб.: Политехника, 1993.
6. Карзов Г. П., Леонов В. П., Марголин Б. З. Остаточные сварочные напряжения в оболочечных конструкциях: реактивные напряжения // Судостроит. пром-сть. Сер. Материаловедение. Сварка. 1991. Вып. 12.
7. Det Norske Veritas. Classification Notes. — Note N 30 — 2. Fatigue Strength Analysis for Mobile Offshore Units, 1984.
8. Germanischer Lloyd: Rules for Classification and Construction, I — Ship Technology, part I — Seagoing Ships, Chapter I — Hull Structures, Section 20 — Fatigue. Hamburg: Germanischer Lloyd.
9. Труфяков В. И. Усталость сварных соединений. Киев: Наукова думка, 1973.
10. Расчет долговечности элементов сварных конструкций с учетом технологических факторов / И. В. Горынин, А. В. Ильин, В. П. Леонов, О. Г. Соколов // Судостроит. пром-сть. Сер. Проектирование судов. 1991. Вып. 17.
11. Ilyin A. V., Leonov V. P. Improvement of the Fatigue Strength Design Procedure for Welded Joints of Offshore Units on the Base of Cyclic Fracture Process Simulation // Polartech — 96. Int. Conf. on Development and Commercial Utilization of Technologies in Polar Regions, workshops «A». Crylov Shipbuilding Research Int-t, 24 — 26th Sept., St-Petersburg, Russia. P. 163—171.

# ИНФОРМАЦИОННЫЙ ОТДЕЛ

## ЗЕЛЕНОДОЛЬСКОМУ ПКБ — 50 ЛЕТ

Зеленодольское проектно-конструкторское бюро (ЗПКБ) было создано приказом министра судостроительной промышленности 18 ноября 1949 г. как «Центральное конструкторское бюро № 340 по проектированию больших охотников за подводными лодками на правах хозрасчетной организации с самостоятельным балансом».

В состав бюро вошли специалисты из ЦКБ-51 (ныне ОАО КБ «Вымпел» в Нижнем Новгороде), а также большая группа ИТР из кон-

же ставшие сотрудниками нового ЦКБ, были удостоены Государственной премии СССР.

Перед бюро была поставлена задача создания в кратчайшие сроки новых быстроходных противолодочных кораблей.

А. В. Кунахович, будучи специалистом-гидромехаником, никогда не забывал правила Леонардо да Винчи: «Если имеешь дело с водой — прибегни сначала к опыту». Поэтому эксперимент и макетирование стали неотъемлемой частью жизни бюро.

мещения (полное — около 220 т) и ограниченной скорости могли использоваться для борьбы с дизельными подводными лодками в ближних операционных зонах военно-морских баз.

Для поиска и уничтожения скоростных атомных подводных лодок ЗПКБ разработало проект малого противолодочного корабля (МПК) пр. 204 (полное водоизмещение 550 т) для прибрежной зоны, а также проект противолодочного корабля с дизель-газотурбинной установкой пр. 159



Большой охотник пр. 1226



Малый охотник пр. 201

рукторского отдела Зеленодольского судостроительного завода им. А. М. Горького. Первым начальником — главным конструктором бюро был А. В. Кунахович, незаурядные личные качества которого сыграли важную роль в становлении и расцвете бюро. Талантливым инженером и организатором являлся В. И. Цюпак, проработавший около трех десятилетий главным инженером бюро.

В это время на Зеленодольском заводе им. А. М. Горького строились большие охотники за подводными лодками пр. 1226, за участие в коренном усовершенствовании и внедрении поточно-позиционного метода постройки которых А. В. Кунахович, В. И. Цюпак, а также В. С. Гусев, А. Г. Шаповалов и Н. М. Шомин, то-

Его специалисты вместе с «наукой» (ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова, ЦАГИ, КАИ и др.) построили и испытывали десятки самоходных и других моделей, что обеспечило убедительную научную базу для проектов бюро.

Уже в середине 50-х годов на Зеленодольском заводе им. А. М. Горького началось строительство противолодочных кораблей с новым вооружением по откорректированной ЗПКБ документации для серии пр. 201. Строительство улучшенных кораблей — пр. 201М — продолжалось для ВМФ, погранвойск и на экспорт на Зеленодольском, Керченском, Хабаровском заводах более десяти лет.

Корабли пр. 201М вследствие относительно небольшого водоиз-

(полное водоизмещение около 1100 т) для действий в открытом море.

На корабле пр. 204 в целях снижения подводного шума и достижения высокой скорости также была применена дизель-газотурбинная установка с разработанными ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова гидромоторами.

Создатели кораблей пр. 204 были в 1965 г. отмечены Ленинской премией; в их число вошли сотрудники бюро А. В. Кунахович, В. И. Цюпак, М. М. Гольдберг, Н. Д. Бочков, С. Г. Вялков.

На корабле пр. 159 впервые в мировой практике была применена комбинированная дизель-газотурбинная энергетическая установка, обеспечившая достижение необходимых



Малый противолодочный корабль пр. 201М



Малый противолодочный корабль пр. 204



Противолодочный корабль пр. 159

поисковых и высоких максимальных скоростей. По этому проекту и его модификациям другими заводами — в Калининграде, Хабаровске — продолжалось строительство около 20 лет. Многие корабли были поставлены на экспорт в Индию, Вьетнам, Эфиопию, Сирию. Наряду с указанными проектами ЗПКБ разработало документацию корабля пр. 35 практически с таким же водоизмещением, как у корабля пр. 159, но с энергетической установкой, работавшей, как на пр. 204, на два гидромотора. Такие корабли строились в большом количестве в Калининграде.

Все перечисленные корабли можно было видеть на многих морских театрах.

В 1963 г. ЗПКБ разработало эскизный проект малого противолодочного корабля нового поколения пр. 1124 («Альбатрос»). На этом корабле был принят 21 опытный и головной образец новой техники. МПК пр. 1124 и его более поздние модификации пр. 1124М заменили в постройке корабли пр. 204 и 159. Строительство этих кораблей, включая модификацию пр. 1124П (для погранвойск), осуществлялось на заводах Зеленодольска, Хабаровска и Киева почти 25 лет.

«Рабочей лошадкой флота» — так тепло окрестил корабль пр. 1124 Адмирал Флота Советского Союза С. Г. Горшков, немало сделавший для развития ВМФ («Красная Звезда» от 21 августа 1992 г.).

Корабли пр. 1124 и его модификаций получили высокую оценку.



Экспортный противолодочный корабль пр. 159АЭ



Противолодочный корабль пр. 35

За их создание специалисты бюро — Ю. А. Никольский, Л. Ф. Федосеев, Б. И. Коваленко — удостоены звания лауреатов Государственной премии СССР.

В конце 60-х годов бюро разрабатывает эскизный (1967 г.) и технический (1969 г.) проекты, а в начале 70-х годов — рабочую документацию МПК на подводных крыльях пр. 1141 («Сокол»), способного ре-

больших самоходных моделях в открытых водоемах для обоснования мореходных качеств и внешних нагрузок. Опытный корабль пр. 1141, получивший имя «Александр Кунахович», был построен на заводе им. А. М. Горького в 1976 г. Он пока остается крупнейшим в мире кораблем на подводных крыльях. На учениях по поиску и условному уничтожению подводной лодки корабль не-



«Александр Кунахович» — опытный малый корабль на подводных крыльях пр. 1141

ско увеличить среднюю поисковую скорость. Зеленодольское ПКБ явилось пионером в области применения титановых сплавов в качестве материала крыльевых устройств. Специалисты бюро разработали и обосновали тактические основы использования такого корабля, развернули и на ранней стадии проектирования выполнили широкую программу мореходных испытаний на

однократно завоевывал призы, установленные Главкомандующим ВМФ. Высокая поисковая скорость, в сочетании с используемыми средствами обнаружения и поражения, позволяла ему успешно вести борьбу с атомными подводными лодками, уклоняющимися с максимальной скоростью в подводном положении на больших глубинах. Строительство модифицированных серийных ко-



Малый противолодочный корабль пр. 1124 («Альбатрос»)





Пограничный сторожевой корабль пр. 1124П



Речной корабль управления пр. 1249

раблей (пр. 11451) было передано Феодосийскому ПО «Море».

Более 20 лет в ЗПКБ работало особое подразделение — специальное конструкторское бюро машиностроения (СКБМ), которое обеспечивало проектирование, постройку и сдачу специальных корабельных устройств (транспортных, подъемно-опускных, буксировочных и др.).

КВП-11 водоизмещением свыше 100 т. Катер являлся моделью корабля на воздушной подушке пр. 10230 («Тур»), технический проект которого бюро разработало позднее.

С начала 70-х годов Зеленодольское ПКБ стало создавать проекты сторожевых кораблей на экспорт. Так, был разработан технический проект экспортного сторожевого корабля пр. 1159 («Ягуар»). Корабли этого проек-

воде им. А. М. Горького, а в середине 80-х годов — суда пр. 18061, также до недавнего времени строившиеся в Зеленодольске.

В 1972 г. ЗПКБ разработало технический проект транспортного рефрижератора типа «Татарстан» (пр. 1351), а в 1976 г. на судостроительном заводе в Зеленодольске началась постройка четырех судов этого проекта водоизмещением 4200 т, получивших хорошие отзывы заказчика — Минрыбхоза.

Когда возникла необходимость в укреплении границ на Амуре (1975 г.), Зеленодольское ПКБ начало разработку бронекатера нового поколения пр. 1248 («Москит»), а также корабля управления пр. 1249, строительство которых осуществлялось на Сретенском и Хабаровском заводах соответственно. За создание этих кораблей группе сотрудников бюро А. А. Абсатарову, К. Г. Коротаву, С. В. Русскину и другим специалистам была присуждена Государственная премия СССР.

ЗПКБ оказывало техническое содействие в проектировании противолодочных кораблей пр. 133.1 в бывшей ГДР, а также кораблей пр. 133.1М, строившихся в ГДР для ВМФ СССР с поставкой основного комплектующего оборудования из нашей страны. Бюро оказывало также техническое содействие Индии в проектировании и строительстве сторожевого корабля пр. 25.

В 1982—1983 г. был разработан технический проект сторожевого про-



Судно контроля и измерения физических полей пр. 18061БД («калибровщик»)

В 1969—1973 гг. ЗПКБ спроектировало и построило в Керченском филиале катер «Циклон» с аэродинамической разгрузкой (АДР) водоизмещением свыше 50 т. Катер развивал скорость до 90 уз и испытывался в течение ряда лет, однако проект натурального корабля разработан не был.

В морских условиях испытывался и катер на воздушной подушке

та поставлялись в ГДР, Югославию, а его модификации в тропическом исполнении были построены для Алжира, Ливии, Кубы и заняли лидирующее положение на флотах. Все эти корабли были построены на заводе им. А. М. Горького.

В 1968 г. ЗПКБ были спроектированы суда контроля и измерения физических полей пр. 1806 («Звук»), которые строились с 1972 г. на за-



Речной артиллерийский катер пр. 1248 («Москит»)



Сторожевой корабль пр. 1159 («Ягуар»)



Малый противолодочный корабль пр. 133.1М (постройки ГДР)



Малый противолодочный корабль на подводных крыльях пр. 11451

тиволодочного корабля пр. 11540 («Ястреб»). Его постройка проводилась на прибалтийском заводе «Янтарь». Головной корабль «Неустршимый» был построен в 1990 г. В газете «Страж Балтики» от 29 января 1992 г. в статье, посвященной «Неустршимому», отмечалось, что «корабль при сравнительно небольших размерах и экипаже оснащен мощнейшим и самым современным вооружением, имеет высочайшую степень автоматизации. Аналогов «Неустршимому» нет ни у нас в стране, ни за рубежом». Польская «Gazeta Morska» (№ 133, 1994 г.), приводя характеристики корабля, назвала «ракетный фрегат» «наисовременнейшим надводным кораблем российского флота».

В 1985 г. Зеленодольское ПКБ закончило разработку сторожевого экспортного корабля нового поколения пр. 11661 («Гепард»), а завод им. А. М. Горького в начале 90-х годов закончил его постройку. В газете «Красная Звезда» № 238—239 от 15 октября 1994 г. в заметке ««Гепард» — гроза шпионов, браконьеров и пиратов» приводятся высокие тактико-технические элементы корабля.

Бюро продолжает проектные изыскания (проектирует корабль пр. 11662 и его модификации), отвечающие требованиям различных заказчиков, включая специфические требования федеральной пограничной службы (ФПС). Наряду с этим разработан технический и рабочий проекты катера пр. 12130 для охраны и обороны государственных границ на реках и озерах; головной корабль передан Хабаровским заводом Морским силам ФПС в 1998 г.

Этой же цели отвечает спроектированный и построенный Зеленодольским ПКБ многоцелевой скоростной катер пр. 14170 («Терьер»), эксплуатирующийся ФПС.



Сторожевой корабль пр. 1159TP



«Неустршимый» — сторожевой корабль пр. 11540



Постройка сторожевого корабля пр. 11661 («Гепард»)



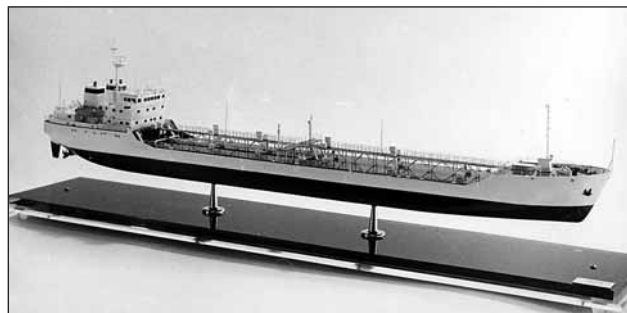
Транспортный рефрижератор «Татарстан» (пр. 1351)



Модель пассажирского судна на автоматически управляемых подводных крыльях «Изумруд» (пр. 14250)



Модель морского пассажирского судна на воздушной каверне типа «Вега» (пр. 05520)



Танкер «Итиль» смешанного (река—море) плавания пр. 15230

Одним из путей выхода из кризиса является проектирование и строительство сложной продукции гражданского назначения. В последние годы бюро спроектировало теплоход на подводных крыльях пр. 14250 («Изумруд») пассажироместимостью 180 чел., танкер пр. 15230 («Итиль») смешанного (река—море) плавания грузоподъемностью 3500 т. Однако, эти суда в силу изменившегося финансового положения заказчиков и по другим причинам пока не построены.

На базе катера «Терьер» разработан проект бонового поста-

новщика пр. 14172. Совместно с заводом им. А. М. Горького принято решение о проектировании и строительстве на заводе скоростного морского пассажирского судна на воздушной каверне пр. 05520 («Вега») для перевозки 146 пассажиров. Рабочая документация для него разрабатывается в настоящее время.

Приоритетной на протяжении нескольких лет является разработка документации и техническое сопровождение модернизации корабля пр. 1159ТМ на Кронштадтском морском заводе. Бюро активно ведет

предконтрактные проработки по пр. 11661 для ряда инозаказчиков; работы выполняются совместно с головными НИИ, разработчиками изделий, комплексов, устройств и ГК «Росвооружение».

Совместно с казанскими и зеленодольскими предприятиями ЗПКБ принимает участие в разработке, изготовлении и доводке газоперекачивающего агрегата «Волга» мощностью 16 МВт. В качестве генерального проектанта ЗПКБ в составе консорциума предприятий Республики Татарстан заключило с РАО «Газпром» договор на разработку, изготовление и поставку мобильной компрессорной станции для откачки газа из отключенного участка магистрального газопровода.

ЗПКБ занимается разработкой газотурбинных приводных установок различной мощности, предназначенных для привода технологических компрессоров утилизации природного газа. Выполняется также ряд работ для АО «Татнефть» (участие в разработке гидроприводной установки для ремонта скважин, изготовление активаторного привода для мойки труб для НГДУ «Альметьевнефть»).

Научно-технический потенциал, накопленный коллективом ЗПКБ

за десятилетия, дает возможность создавать корабли и суда, а также выпускать другую промышленную продукцию, отвечающую самым высоким требованиям, не уступающую по своим характеристикам лучшим мировым аналогам. Отмечая полувек юбилей предприятия, коллектив Зеленодольского ПКБ имеет все основания с уверенностью смотреть в будущее.

**А. В. Романов,**  
начальник — главный конструктор  
Зеленодольского ПКБ

## ВОПРОСЫ РОССИЙСКОГО АГЕНТСТВА ПО СУДОСТРОЕНИЮ

(Постановление Правительства РФ № 878 от 30 июля 1999 г.)

В соответствии с указом Президента Российской Федерации от 25 мая 1999 г. № 651 «О структуре федеральных органов исполнительной власти» Правительство Российской Федерации постановляет:

1. Установить, что Российское агентство по судостроению:

а) является федеральным органом исполнительной власти, обеспечивающим реализацию государственной политики в области судостроительной промышленности;

б) осуществляет функции, ранее выполнявшиеся Министерством экономики Российской Федерации, в части:

формирования и реализации программ развития научно-технического потенциала, координации и государственного регулирования деятельности предприятий и организаций по разработке, производству, ремонту, модернизации и утилизации продукции военного и гражданского судостроения, а также комплектования изделий и составных частей;

формирования совместно с Министерством обороны Российской Федерации и другими государственными заказчиками государственной программы вооружения, государственного оборонного заказа, включая проведение научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по разработке нового вооружения и военной техники, подготовку его серийного производства, создание необходимой испытательной стендовой базы, а также организации их исполнения;

заказчика разработок и производства продукции гражданского назначения, в том числе с использованием внебюджетных источников финансирования;

заключения в соответствии с законодательством Российской Федерации договоров с иностранными партнерами на выполнение международных программ и проектов в области судостроения;

организации внешнеэкономической деятельности находящихся в ведении Агентства предприятий по разработке и производству образцов вооружения и военной техники или их элементов, продукции гражданского и двойного назначения;

проведения работ по стандартизации, унификации и каталогизации продукции судостроительной промышленности в соответствии с законодательством Российской Федерации;

организации работ по сертификации продукции, а также сертификации систем управления качеством продукции предприятий и организаций судостроительной промышленности;

лицензирования деятельности по разработке, производству, ремонту и утили-

зации продукции судостроительной промышленности военного назначения;

участия совместно с Министерством экономики Российской Федерации в конкурсном отборе инвестиционных программ конверсии предприятий и организаций судостроительной промышленности, а также высокоэффективных проектов, требующих государственной поддержки и гарантий, и осуществления в установленном порядке контроля за их реализацией;

обеспечения разработки и выполнения мероприятий по мобилизационной подготовке и гражданской обороне на предприятиях и в организациях, находящихся в ведении Агентства.

2. Утвердить:

перечень государственных предприятий и организаций, находящихся в ведении Российского агентства по судостроению, согласно приложению № 1;

перечень акционерных обществ, в отношении которых Российское агентство по судостроению осуществляет единую государственную политику в сфере проведения работ по разработке, производству, ремонту и утилизации продукции военного и гражданского назначения, согласно приложению № 2.

3. Утвердить Российское агентство по судостроению государственным заказчиком:

федеральной целевой программы «Российские верфи»;

по входящим в федеральные целевые программы «Мировой океан» и «Реструктуризация и конверсия оборонной промышленности на 1998—2000 годы» проектам, относящимся к сфере деятельности Агентства;

по мероприятиям мобилизационной подготовки;

по финансированию уникальной стендовой базы и федеральных государственных полигонов, относящихся к сфере ведения Агентства.

Распределение между исполнителями мероприятий указанных программ средств, выделяемых Министерству экономики Российской Федерации из федерального бюджета на их финансирование, осуществляется Агентством в пределах ассигнований, определяемых по согласованию с Министерством экономики Российской Федерации.

4. Министерству финансов Российской Федерации совместно с Министерством экономики Российской Федерации и Российским агентством по судостроению: внести в месячный срок изменения в роспись ведомственной структуры расходов федерального бюджета на 1999 год,

в том числе в части расходов на содержание центрального аппарата Агентства;

предусмотреть при формировании проекта федерального бюджета на 2000 год выделение Агентству соответствующих ассигнований в ведомственной структуре расходов федерального бюджета.

5. Российскому агентству по судостроению совместно с Министерством государственного имущества Российской Федерации представить в 3-месячный срок в Правительство Российской Федерации согласованные с заинтересованными федеральными органами исполнительной власти предложения об уточнении состава представителей Российской Федерации в открытых акционерных обществах, указанных в приложении № 2 к настоящему постановлению.

6. Российскому агентству по судостроению внести в установленном порядке в Правительство Российской Федерации предложения об источниках внебюджетного финансирования научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

7. Разместить в установленном порядке Российское агентство по судостроению на площади размером 2000 кв. метров в административных зданиях, расположенных в г. Москве, по ул. 1-я Брестская, д. 2 и д. 10.

8. Установить предельную численность работников центрального аппарата Российского агентства по судостроению в количестве 120 единиц (без персонала по охране и обслуживанию зданий) и фонд оплаты их труда в размере 914,4 тыс. рублей (в расчете на квартал) за счет соответствующего сокращения предельной численности работников центрального аппарата Министерства экономики Российской Федерации (без персонала по охране и обслуживанию зданий) и фонда оплаты их труда.

9. Разрешить Российскому агентству по судостроению иметь 4 заместителей генерального директора Агентства, в том числе одного первого, и коллегия в количестве 15 человек.

10. Российскому агентству по судостроению представить в Правительство Российской Федерации согласованные с Министерством финансов Российской Федерации и другими заинтересованными федеральными органами исполнительной власти предложения о финансировании мероприятий, связанных с подготовкой помещений, укомплектованием их необходимым инвентарем и техникой.

11. Государственному комитету Российской Федерации по телекоммуникациям обеспечить Российское агентство по

судостроению по его заявкам необходимы услуги связи, а также предоставить Агентству доступ к информационным ресурсам в соответствии с техническими возможностями и на основе договоров, заключенных с операторами связи и владельцами информационных ресурсов.

12. Федеральному агентству правительственной связи и информации при Президенте Российской Федерации обеспечить в установленном порядке Российское агентство по судостроению необходимыми видами связи, включая правительственную связь по международным каналам, а также информационными ресурсами для осуществления его деятельности.

13. Сохранить за работниками Министерства экономики Российской Федерации, переводимыми с их согласия в центральный аппарат Российского агентства по судостроению на должность с меньшим должностным окладом, на время их работы в этой должности должностной оклад по прежней должности.

14. Российскому агентству по судостроению и Министерству экономики Российской Федерации внести в установленном порядке в Правительство Российской Федерации предложения по приведению решений Правительства в соответствие с настоящим постановлением.

**Председатель Правительства Российской Федерации С. Степашин**

Приложение № 1\*

**Перечень государственных предприятий и организаций, находящихся в ведении Российского агентства по судостроению**

1. СПО «Арктика» (Северодвинск).
2. МП «Звездочка» (Северодвинск).
3. НИПТБ «Онега» (Северодвинск).
4. Завод «Полярная звезда» (Северодвинск).
5. Завод «Северный рейд» (Северодвинск).
6. ПО «Северное машиностроительное предприятие» (Северодвинск).
7. Судоремонтный завод «Нерпа» (Снежногорск, Мурманская область).
8. Кольское предприятие «ЭРА» (Снежногорск, Мурманская область).
9. НИИ Морской теплотехники (Ломоносов, Санкт-Петербург).
10. НПО «Аврора» (Санкт-Петербург).
11. Адмиралтейские верфи (СПб).
12. Завод «Азимут—Электроприбор» (СПб).
13. ЦМКБ «Алмаз» (СПб).
14. Предприятие «Водтрансприбор—Пуск» (СПб).
15. ЦНИИ «Гидроприбор» (СПб).
16. ЦНИИ «Гранит» (СПб).
17. Завод «Двигатель» (СПб).
18. Завод им. А. А. Кулакова (СПб).
19. СКТБ «Компенсатор» (СПб).
20. СПМБМ «Малахит» (СПб).
21. ЦКБ «Меридиан» (СПб).
22. ЦНИИ «Морфизприбор» (СПб).
23. ЦНИИКМ «Прометей» (СПб).
24. Производственное предприятие «Равенство» (СПб).
25. Предприятие «Равенство—Сервис» (СПб).
26. НИПКИ «Радар» (СПб).
27. ЦКБ МТ «Рубин» (СПб).
28. КБ «Связьморпроект» (СПб).

29. Северное ПКБ (СПб).
30. Завод «Северный пресс» (СПб).
31. Средне-Невский судостроительный завод (СПб).
32. Учебно-технический центр охраны и пожарной безопасности «Судпромохрана» (СПб).
33. ЦНИИ судовой электротехники и технологии (СПб).
34. ЦНИИ им. академика А. Н. Крылова (СПб).
35. ЦНИИ технологии судостроения (СПб).
36. ЦНИИ «Электроприбор» (СПб).
37. Опытный завод «Вега» (Боровск).
38. Акустический институт им. академика Н. Н. Андреева (Москва).
39. НПО «Агат» (Москва).
40. НПО «Альтаир» (Москва).
41. КБ «Аметист» (Москва).
42. НПО «Винт» (Москва).
43. ЦНИИ «Дельфин» (Москва).
44. КБ машиностроения (Москва).
45. ЦНИИ «Курс» (Москва).
46. Московский завод «Салют» (Москва).
47. СКТБ электрохимии (Москва).
48. Внешнеэкономическое предприятие «Судоэкспорт» (Москва).
49. Завод «Топаз» (Москва).
50. ЦНИИ судостроительной промышленности «Центр» (Москва).
51. Московский завод «Электроприбор» (Москва).
52. НИИ «Атолл» (Дубна, Московская область).
53. НИИ прикладной акустики (Дубна, Московская область).
54. КБ малотоннажного судостроения (Рыбинск).
55. Отраслевое КБ «Волна» (Нижний Новгород).
56. Предприятие «ТИСО» (Волгоград).
57. НИИ «Штиль» (Волгоград).
58. Самарский завод «Рейд» (Самара).
59. Петровский электромеханический завод «Молот» (Петровск).
60. ПО «Бином» (Саратов).
61. Завод «Знамя труда» (Саратов).
62. Радиоприборный завод (Саратов).
63. Опытное КБ «Экран» (Саратов).
64. НПО «Марс» (Ульяновск).
65. Зеленодольский завод им. А. М. Горького (Зеленодольск).
66. Зеленодольское ПКБ (Зеленодольск).
67. Татарское ПО «Свягяга» (Казань).
68. НИПКИ судовой гидроаппаратуры «Бриз» (Таганрог).
69. Таганрогский завод «Красный гидропресс» (Таганрог).
70. Таганрогский завод «Прибой» (Таганрог).
71. Завод точной механики (Екатеринбург).
72. Дальневосточный завод «Звезда» (Большой Камень).
73. НИИ «Берег» (Владивосток).
74. Хабаровский судостроительный завод (Хабаровск).
75. Камчатский гидрофизический институт (Вилучинск).
76. Светловское предприятие «ЭРА» (Светлый).

Приложение № 2\*

**Перечень акционерных обществ, в отношении которых Российское агентство по судостроению осуществляет единую государственную политику в сфере проведения работ по разработке, производству, ремонту и утилизации продукции военного и гражданского назначения**

1. Судостроительный завод «Авангард» (Петрозаводск).
2. ЦКБ «Айсберг» (Санкт-Петербург).
3. Судостроительная фирма «Алмаз» (СПб).

4. Армалит (СПб).
5. Балтийский завод (СПб).
6. Предприятие «Водтрансприбор» (СПб).
7. Звезда (СПб).
8. Завод «Компрессор» (СПб).
9. Морской завод «Алмаз» (СПб).
10. Морэлектрорадиокомплект (СПб).
11. Невское ПКБ (СПб).
12. Петрозавод (СПб).
13. Пролетарский завод (СПб).
14. Редан (СПб).
15. СКБ котлостроения (СПб).
16. Судостроительный завод «Северная верфь» (СПб).
17. ЦНИИ судового машиностроения (СПб).
18. Штурманские приборы (СПб).
19. Предприятия «ЭлектроРадиоАвтоматика» (СПб).
20. Электротяга (СПб).
21. Квернер—Выборг верфь (Выборг).
22. Завод «Буревестник» (Гатчина).
23. Завод «Кризо» (Гатчина).
24. Завод «Ладога» (Кировск).
25. Свирская судостроительная верфь (пос. Никольский).
26. Ленинградский судостроительный завод «Пелла» (Отрадное).
27. Гороховецкий судостроительный завод (Гороховец).
28. Калужский турбинный завод (Калуга).
29. Калужский приборостроительный завод «Тайфун» (Калуга).
30. Импульс (Москва).
31. НИИ экономики, управления и организации производства (Москва).
32. Институт торгового машиностроения «РИТМ» (Москва).
33. Светотехнический завод «Сатурн» (Москва).
34. Судпромснаб (Москва).
35. Предприятие «Ратеп» (Серпухов).
36. Вымпел (Рыбинск).
37. Судостроительный завод «Слип» (Рыбинск).
38. Судоверфь (пос. Судоверфь, Ярославская область).
39. Ярославский судостроительный завод (Ярославль).
40. Богородский машиностроительный завод (Богородск).
41. Судпромкомплект (Москва).
42. Городецкая судостроительная верфь (Городец).
43. ЦКБ «Монолит» (Городец).
44. Судостроительный завод «Волга» (Нижний Новгород).
45. ЦКБ «Вымпел» (Нижний Новгород).
46. Завод «Красное Соромово» (Нижний Новгород).
47. ЦКБ «Лазурит» (Нижний Новгород).
48. Завод им. Г. И. Петровского (Нижний Новгород).
49. Нижегородский НИИ машиностроительных материалов «Прометей» (Нижний Новгород).
50. НИИ технологии машиностроения «Сириус» (Нижний Новгород).
51. Концерн «Термаль» (Нижний Новгород).
52. ЦКБ по судам на подводных крыльях им. Р. Е. Алексеева (Нижний Новгород).
53. Нижегородское предприятие «ЭРА» (Нижний Новгород).
54. Сосновский судостроительный завод (Сосновка).
55. Морской судостроительный завод (Астрахань).
56. Эллинг (Астрахань).
57. Судостроительный завод «Красные Баррикады» (пос. Красные Баррикады, Астраханская область).
58. Судостроительный завод «Лотос» (Нариманов).
59. Завод «Ахтуба» (Волгоград).
60. Волгоградский судостроительный завод (Волгоград).
61. ЦКБ «Шельф» (Волгоград).
62. Завод «Комета» (Ульяновск).
63. Зеленодольское предприятие «ЭРА» (Зеленодольск).

\* Наименования предприятий приводятся в сокращенном виде.

64. Завод «Нептун» (Ставрополь).  
 65. Азовская судверфь (Азов).  
 66. Горизонт (Ростов-на-Дону).  
 67. Завод «Дагдизель» (Каспийск).  
 68. Каспийский завод точной механики (Каспийск).  
 69. Завод им. Гаджиева (Махачкала).  
 70. Акционерная компания «Корвет» (Курган).  
 71. Судостроительный завод «Кама» (Пермь).  
 72. Катав-Ивановский приборостроительный завод (Катав-Ивановск).  
 73. Алтайский приборостроительный завод «Ротор» (Барнаул—34).  
 74. Тюменский судостроительный завод (Тюмень).  
 75. Красноярский судостроительный завод (Красноярск).  
 76. Сретенский судостроительный завод (пос. Кокуй, Читинская область).  
 77. Улан-Удэнский судостроительный завод (Улан-Удэ).  
 78. Завод «Аскольд» (Арсеньев).  
 79. Тихоокеанское предприятие «ЭРА» (Большой Камень).  
 80. Завод «Варяг» (Владивосток).  
 81. Восточная верфь (Владивосток).  
 82. Холдинговая компания «Дальзавод» (Владивосток).  
 83. Завод «Дальприбор» (Владивосток).  
 84. Завод «Изумруд» (Владивосток).  
 85. Завод «Радиоприбор» (Владивосток).  
 86. Владивостокское предприятие «Электрорадиоавтоматика» (Владивосток).  
 87. Амурский судостроительный завод (Комсомольск-на-Амуре).  
 88. Амурское предприятие «ЭРА» (Комсомольск-на-Амуре).  
 89. Николаевский-на-Амуре судостроительный завод (Николаевск-на-Амуре).

90. Дальневосточный НИИ технологии судостроения (Хабаровск).  
 91. Судостроительный завод «Остон» (Хабаровск).  
 92. Хабаровский завод им. А. М. Горького — «Хабсудмаш» (Хабаровск).  
 93. Судостроительный завод имени Октябрьской революции (Благовещенск).  
 94. Прибалтийский судостроительный завод «Янтарь» (Калининград).

Генеральным директором Российского агентства по судостроению постановлением Правительства РФ назначен Поспелов Владимир Яковлевич.

(«Российская газета» от 17 июня и 12 августа 1999 г.)

## ПРОГРАММА ВОЗРОЖДЕНИЯ ТОРГОВОГО ФЛОТА РОССИИ БУДЕТ ПРОДЛЕНА ДО 2005 ГОДА

Правительство РФ продлит действие федеральной президентской программы «Возрождение торгового флота России» до 2005 года. По данным Минтранса, со времени принятия программы в 1993 г. Россия построила 112 новых морских и 374 речных судов, а также 16 перегрузочных комплексов в морских портах общей мощностью переработки 20 млн т сухих, наливных и контейнерных грузов в год. При этом ввод новых перегрузочных комплексов, а также реализация принятых мер по привлечению грузопотоков в отечественные порты обеспечили рост грузооборота в морских портах в 1998 г. (135,6 млн т) по сравнению с 1992 г. более чем на 20 млн т. Ежегодные объемы инвестиций составляли \$600—800 млн, причем на государственное финансирование программы приходилось менее 1%. Задания программы на 1993—1998 гг. по обновлению флота выполнены на 38%, по строительству портовых мощностей — на 19%. В принятом коллегией Минтранса решении говорится, что до 2005 г. необходимо построить не менее 120 новых морских судов, около 200 судов класса «река—море», а также за счет реконструкции в 2 раза увеличить перевалочные мощности Новороссийского и Санкт-Петербургского морских портов, ввести в действие морские порты Приморск, Усть-Луга и Батарейная в Финском заливе и порт Оля на Северном Каспии.

**Морской транспорт.** Финансирование строительства транспортного коммерческого флота проводится судоходными компаниями за счет собственных и привлеченных средств, в основном в виде иностранных кредитов. Российские банки и другие финансовые институты по объективным причинам не готовы предоставлять кредиты на длительный срок (8—10 лет) и на приемлемых условиях (до 8% годовых) для обеспечения окупаемости инвестиционных проектов. Только по транспортным судам ледового класса (для работы в Арктике) программой предусмотрен минимальный уровень господдержки (до 20%), который в действительности не обеспечивается из-за недостатка бюджетных средств. За счет средств федерального бюджета предусмотрено финансирование строительства судов для госнужд (ледоколов, спасателей и др.).

Всего за период с 1993 г. по 1 июня 1999 г. построено 112 различных типов морских судов дедевитом около 2,4 млн т. При этом доля судов, построенных на отечественных судостроительных заводах, составляет около 20% (в б. СССР этот показатель равнялся 50%). Рекордным по поставкам флота был 1998 г., когда было

построено 23 судна общим дедевитом около 800 тыс. т.

Пополнение флота судоходными компаниями вновь построенными судами позволило снизить возраст судов транспортно-го флота. Так, например, в АО «Приморское морское пароходство» средний возраст судов снизился с 17 до 12 лет, в АО «Дальневосточное морское пароходство» — с 18 до 15 лет.

К настоящему времени отработана схема привлечения для строительства флота и портовых комплексов банковских кредитов. В качестве кредиторов привлекались в основном следующие иностранные банки: ЕБРР, «ПАРИБА» (Швейцария), KfW и Дрезднер банк (Германия), Кристиания Банк (Норвегия), Мисс Пирсон (Нидерланды) и ряд других, а также российские банки: Мосбизнесбанк, Онексимбанк, Промстройбанк, «Российский кредит», Инкомбанк. Для строительства арктических танкеров были использованы межправительственные кредитные линии с Германией и Норвегией.

Отставание в объемах реализации программы объясняется изменением ситуации в стране по сравнению с условиями в период ее формирования. В частно-

сти, снизились возможности государства по финансовой поддержке транспорта и промышленности. Также значительные изменения претерпели состав и направления экспортно-импортных грузопотоков.

В результате государственная поддержка мероприятий программы за годы ее реализации составила 0,88% от плановых цифр, а ее удельный вес в общем объеме финансирования составил 4%. Средства для выкупа валюты для Фонда возрождения торгового флота были выделены Минфином России только в 1994 г. В январе 1999 г. указом президента РФ отменена доля государственных инвестиций за счет направления в Фонд возрождения торгового флота России части валютной выручки предприятий морского транспорта, подлежащей продаже на внутреннем валютном рынке.

Сложившееся положение дел с бюджетным финансированием по отдельным объектам программы и погашением кредиторской задолженности за 1995—1998 гг. приводит к негативным последствиям. Так, строительство атомного ледокола «50 лет Победы» на Балтийском заводе и морских буксиров-спасателей на Амурском судостроительном заводе растянулось на долгие годы. Ремонтно-технологическому предприятию «Атомфлот», осуществляющему строительство базы 92 в Мурманске, и Государственному гидрографическому предприятию, осуществляющему навигационное и гидрографическое обеспечение Севморпути, в последние три года средств бюджетного финансирования практически не выделялось.

Иллюстрацией неблагоприятного положения с бюджетным финансированием судостроения является строительство атомного ледокола «50 лет Победы», который планировалось ввести в эксплуатацию в 1999 г. Ледокол к маю 1999 г. имел готовность 69%, стоимость оставшихся работ составляет \$126 млн с учетом НДС. В 1998 г. по ледоколу лимит государственных инвестиций составил 66,2 млн руб.,



На стапеле ГУП «Адмиралтейские верфи» — серийный танкер-продуктовоз арктического плавания дедвейтом 20 000 т

фактически финансирование составило 48,2 млн руб. На 1999 г. госинвестиций на строительство атомного ледокола вообще не предусмотрено. И это при том, что в 1999—2001 гг. из имеющихся 7 атомных и 4 дизельных линейных ледоколов по возрасту будут списаны два атомных и все дизельные.

Из предусмотренных указом Президента РФ налоговых и таможенных льгот реально реализовано было только освобождение морских портов от земельного налога. Высокие, экономически необоснованные налоги и пошлины на строительство и закупку судов и судового комплектующего оборудования не дают возможности строить флот под российскую регистрацию как на отечественных судостроительных заводах, так и по импорту.

В качестве примера можно привести случай растаможивания арктического танкера «Волгоград» дедвейтом около 16 000 т, построенного для АО «ЛУКОЙЛ—Арктик—Танкер» в Германии в феврале 1998 г. под российский флаг с портом приписки Санкт-Петербург. При первом заходе судна в порт приписки судовладелец был вынужден заплатить \$10,7 млн таможенных платежей (таможенная пошлина + НДС + другие платежи), т. е. около трети стоимости танкера, кстати говоря, построенного в кредит.

В соответствии с пунктом 5 указа Президента РФ от 2 декабря 1992 г. «О мерах по возрождению торгового флота России» правительство должно было принять решение об освобождении предприятий морского и речного транспорта от таможенных пошлин на импорт морских и речных судов, которые в тот период составляли 1% от стоимости судна. На деле правительство приняло в 1994 г. постановление об увеличении таможенных пошлин на импорт судов до 5%, то есть в 5 раз.

Привлечение кредитов иностранных банков возможно только при регистрации судов и залогов в удобной для банков-кредиторов юрисдикции. Российское зако-

нодательство не адаптировано к условиям международного рынка капиталов, поэтому большинство вновь построенных российскими судоходными компаниями судов зарегистрированы в странах «удобного» флага.

В настоящее время ведется строительство для АО «ЛУКОЙЛ—Арктик—Танкер» 5 арктических танкеров усиленного ледового класса дедвейтом 20 тыс. т на ГУП «Адмиралтейские верфи» (Санкт-Петербург). Головное судно этой серии будет построено в декабре 1999 г. В 1997—1998 гг. была построена серия из 2 единиц и строится вторая серия из 3 арктических танкеров дедвейтом 15 600 т на верфи MTW (Германия). Головное судно «Санкт-Петербург» получено в апреле 1999 г., остальные суда будут получены также в 1999 г.

Подготовлены и направлены в правительство РФ предложения по привлечению к финансированию строительства атомного ледокола «50 лет Победы» иностранного кредита под государственные гарантии; по финансированию строительства серии арктических танкеров дедвейтом 80 тыс. т на ПО «Севмашпредприятие» (Северодвинск); по 7 сухогрузным судам дедвейтом 5000 т для ГП «Северо-Каспийское морское пароходство».

**Внешнеторговые перевозки.** По мнению руководства Минтранса РФ, темпы реализации программы еще не в полной мере решают ее главную задачу — обеспечение экономической и политической независимости страны во внешней торговле. По данным Минтранса, удельный вес зарубежных судоходных компаний в перевозках российских внешнеторговых грузов составляет порядка 60%. Из-за отсутствия специализированных портовых мощностей около 40% внешнеторговых грузов перерабатывается в портах сопредельных государств. В результате валютные потери России составляют более \$2 млрд в год.

Ситуация во многом усугубляется и тем, что в России создана заведомо про-

игрышная для российских перевозчиков конкурентная ситуация. Общепринятые за рубежом меры государственного протекционизма и поддержки национального транспортного флота в России практически не применяются, действующие налоговое и таможенное законодательство резко ухудшают инвестиционные возможности отечественных судовладельцев, вынуждают их размещать заказы на строительство судов за рубежом, выводить их в оффшорные зоны и регистрировать под флаги иностранных государств. В результате Россия катастрофически быстро теряет свой национальный флот, соответственно снижаются доходы бюджета от его деятельности.

Для борьбы с этим явлением и с целью создания благоприятных условий для развития национальных судоходных компаний, возвращения судов из-под оффшорной регистрации под национальные флаги, увеличения бюджетных доходов многие морские государства приняли закон о так называемом «2-м Реестре».

Службой морского флота Минтранса РФ также разработан проект закона «О международном Реестре судов России», который позволит повысить конкурентоспособность российского флага и будет способствовать привлечению вновь строящегося флота под российскую регистрацию. Скорейшее принятие закона тем более важно, что в конце 1998 г. Россией ратифицирована Международная конвенция о морских ипотеках и залогах 1993 г.

В конце 1998 г. проект закона о 2-м Реестре был направлен в Госдуму РФ для его принятия. Однако, несмотря на очевидную важность закона для российского государства, Госдума не торопится заниматься этим законопроектом.

**Перспективы развития программы.** Ход реализации программы «Возрождение торгового флота России» дважды рассматривался комиссией правительства РФ по оперативным вопросам, которая, отметив отставание реализации программы по срокам и объемам, предложила Минтрансу откорректировать ее с учетом современных реалий. Также Минтрансу поручено подготовить в установленном порядке распоряжение правительства РФ о продлении срока действия программы до 2005 г.

В итоге программа возрождения торгового флота России была переработана с целью сокращения доли бюджетного финансирования. Из программы также были исключены объекты, потерявшие актуальность в связи с произошедшими в стране переменами.

По мнению руководства Минтранса, для улучшения положения с реализацией программы возрождения торгового флота России и стимулирования заказов на строительство нового флота необходимо создать благоприятный финансовый и налоговый климат, законодательно предусмотреть меры государственной поддержки. Так, в ближайшее время необходимо принятие правительством РФ постановления «О неотложных мерах по государственной поддержке торгового флота России», законов «О международном Реест-

ре судов России», «О морских портах Российской Федерации», «О государственной поддержке судостроительной промышленности».

Кроме того, необходимо предоставление правительственных гарантий на привлечение кредитов иностранных банков для строительства судов на заводах России; предоставление отсрочки по расчетам за кредиты на строительство судов на основе межправительственных кредитных соглашений на срок 3—4 года после ввода судов в эксплуатацию; освобождение доходов и прибыли, получаемых от работы вновь построенных судов, от всех видов налогов на период возврата кредитов за построенные суда на российский верфях и под российскую регистрацию.

По мнению Минтранса, крайне важной мерой является отмена импортных таможенных пошлин и НДС при закупке за рубежом судового комплектующего оборудования для обеспечения строительства судов на отечественных заводах, а также портового перегрузочного оборудования; снижение ставки таможенных пошлин на импорт морских и речных судов с существующих 5% до 0,5%.

**Речной транспорт.** На время принятия «Программы возрождения торгового флота России на 1993—2000 гг.» (1993 г.) речной транспорт имел в своем составе более 12 тыс. транспортных судов общей грузоподъемностью 14,9 млн т, мощностью буксирных судов 1,7 млн л. с., пассажироместностью 223 тыс. мест. Более 46% транспортных судов имели возраст, превышающий 25 лет.

По данным Минтранса РФ, из-за физического износа не могли эксплуатироваться в международных водах более 150 сухогрузных судов «река—море» плавания общей грузоподъемностью 375 тыс. т и около 60 танкеров «река—море» плавания общей грузоподъемностью 290 тыс. т. Одна треть (101 ед.) земснарядов выработали амортизационный срок, 38% судов экологического назначения требовали замены из-за физического износа. До 2000 г. подлежало списанию по срокам службы 48% транспортных судов, в том числе 232 судна, работающих на заграничных перевозках (36%).

Программа направлена в первую очередь на обеспечение независимости России во внешней торговле, обеспечение перевозок грузов в районы Крайнего Севера и во внутреннем сообщении. Кроме того, в рамках программы предусматривается пополнение и обновление транспортного флота, модернизация действующих и строительство новых перегрузочных комплексов.

Реализация программы должна осуществляться в основном за счет собственных средств предприятий, кредитов банков, инвесторов и только 7,5% составляла государственная поддержка в виде бюджетных средств, направляемых целевым назначением в Фонд возрождения торгового флота России.

В соответствии с программой в 1993—2000 гг. необходимо было построить и модернизировать 1810 судов, в том числе для

перевозки внешнеторговых грузов 516 судов. Также планировалось увеличить перегрузочные мощности в 17 речных портах на 23,8 млн т, развить мощности промышленных предприятий по строительству 118 судов и ремонту 500 судов.

Однако из-за произошедших изменений в экономике России в значительной степени снизилась потребность речного транспорта в перевозках и переработке грузов на внутреннем рынке. В результате более 56% транспортного флота для внутренних перевозок оказалось невостребованным. Перегрузочные мощности портов используются на 48%, промышленные предприятия фактически не имеют заказов на судостроение.

**Перевозка внешнеторговых грузов.** В сложившихся условиях Служба речного флота совместно с судоходными компаниями и портами провела ряд работ по строительству судов смешанного «река—море» плавания, модернизации судов внутреннего плавания и увеличению перегрузочных мощностей устьевых портов для перевозки и переработки внешнеторговых грузов.

За период с 1993 г. по 1 июня 1999 г. построено и модернизировано 380 судов различного назначения, в том числе для перевозки внешнеторговых грузов 272 судна, из них 213 модернизировано.

Кроме того, продолжают работы по реконструкции перегрузочных мощностей для переработки внешнеторговых грузов в портах Азов, Ростов-на-Дону, Калининград, Ейск, Темрюк, Кавказ, Астрахань.

Принятые меры позволили уже в 1998 г. довести объем перевозок внешнеторговых грузов до 24 млн т при предусмотренных программой 20—22 млн т в 2000 г. Переработка внешнеторговых грузов в устьевых портах достигла около 2 млн т.

**Строительство судов речного флота.** Строительство и модернизация судов внутреннего плавания для перевозки внешнеторговых грузов производились в основном за счет собственных средств и кредитов иностранных банков с залогом строящихся и действующих судов. При строительстве флота с использованием иностранных кредитов использовались кредитные линии, при которых 85—100% строительной стоимости оплачивалось за счет кредитов иностранных банков и 15% за счет собственных средств заказчика. По данной схеме построено 43 судна Беломорско-Онежского, Северо-Западного, Северного, Западного, Московского, Иртышского, Волго-Донского пароходств и пароходства «Волготанкер».

15 июня 1993 г. Минтранс, Минэкономики, Минфин России и Нижняя Саксония подписали меморандум «О содействии развитию немецкого и российского судостроения». В соответствии с подписанным соглашением созданы совместные российско-германские предприятия по строительству судов смешанного «река—море» плавания: «Онега—Арминиус Шипбилдерс», «Дон—Кассенс» (Аксай) и «Ново-Невская судовой верфь» (Санкт-Петербург).

Строительство судов осуществлялось в основном на зарубежных судовой верфях, так как отечественные судостроительные предприятия находятся в сложном финансовом положении и строительство флота на таких заводах, как «Слип» (Рыбинск), «Ока» (Навашино), Амурский судостроительный (Комсомольск-на-Амуре), приводило к длительным срокам строительства и даже к потере инвестиционных средств. Так, Волжскому пароходству не были поставлены суда заводами «Ока» и «Слип» из-за банкротства этих предприятий. При этом пароходство за строительство перечислило заводу «Ока» 65% строительной стоимости и заводу «Слип» полностью оплатило расходы по строительству.

В то же время Волгоградский судостроительный завод для Северо-Западного пароходства построил 10 судов в строгом соответствии с графиком поставки в течение 1,5 лет, при этом стоимость каждого судна на 10—15% оказалась ниже среднемировой цены. Северо-Западное пароходство готово сотрудничать и в дальнейшем с этим судостроительным заводом и в течение 2002—2010 гг. построить серию из 20—25 контейнеровозов нового проекта грузоподъемностью 4—5 тыс. тонн.

Комиссия правительства РФ по оперативным вопросам в 1996 г. приняла решение откорректировать программу с учетом реальных источников финансирования.

В целях сохранения достигнутых объемов перевозок внешнеторговых грузов и грузов в районы Крайнего Севера, подготовки к вступлению России в ВТО, а также предстоящего постепенного открытия для иностранных судов внутренних водных путей потребуются ускоренное строительство нового конкурентоспособного флота.

В соответствии с поступившими предложениями судоходных компаний, занимающихся перевозкой внешнеторговых грузов, для обеспечения стабильного финансового положения этих компаний необходимо до 2010 г. построить не менее 200 судов смешанного «река—море» плавания. Однако без поддержки Минтранса, Минфина, Минэкономики и Российского агентства по судостроению осуществить строительство данного количества судов не представляется возможным.

Служба речного флота ознакомила судоходные компании с технологией возможного финансирования строительства флота с помощью специально образованной организации «Флотинвест», которая обеспечит финансирование 80% строительной стоимости судов. Финансирование планируется вести за счет кредитов иностранных и российских банков.

Для реализации намеченной программы строительства 200 судов смешанного «река—море» плавания до 2010 г. необходимо создать благоприятный финансовый и налоговый климат, законодательно предусмотреть меры государственной поддержки.

(Из газеты «Морские вести России», с сокращениями)



## ТРИ УДАРА ПРАВИТЕЛЬСТВА, КОТОРЫЕ РАЗРУШИЛИ СУДОСТРОЕНИЕ УКРАИНЫ

Автор этой статьи, перепечатанной с небольшими сокращениями из журнала «Судоходство» (Одесса), около сорока лет проработал на судостроительном заводе «Океан» (Николаев), пройдя путь от заместителя начальника цеха до главного инженера, а последние 14 лет до выхода на пенсию был директором этого предприятия.

Семь лет назад Украина получила не только статус независимого государства, но и в наследство — весомый промышленный потенциал: восемь хорошо оснащенных, высокоприбыльных судостроительных заводов, составлявших около 30% судостроения СССР; 27% транспортного флота и 50% пассажирских судов. Казалось бы, неплохо — живи, радуйся, продолжай улучшать экономические показатели, тем более, что мы строили экспортные суда на 10–12% дешевле, чем некоторые зарубежные фирмы, и заказчиков у нас было достаточно. Но вместе с основными фондами Украине достались и проблемы: у многих судостроительных компаний уже не было средств на обновление флота, а, по прогнозам зарубежных фирм, наши суда к 2000 г. перестанут быть конкурентоспособными и потребуют почти полной замены. Из-за большой конкуренции на фрахтовом рынке украинские суда простаивают в портах в ожидании случайных грузов...

Негативные тенденции нарастали.

А были ведь совсем иные перспективы. Николаевский судостроительный завод «Океан», которым я руководил многие годы, после реконструкции и строительства блока корпусных цехов и сухого дока встал в один ряд с современными высокотехнологичными заводами мирового судостроения, получил возможность строить все типы крупнотоннажных судов водоизмещением до 350 тыс. т. Головной рудовоз (балкер) типа «Зоя Космодемьянская» водоизмещением 63 тыс. т, спроектированный николаевским ЦКБ «Черноморсудопроект», был построен и выведен из дока на достройку одновременно с окончанием строительства сухого дока и подписанием акта ввода его в действие. В дальнейшем такие рудовозы хорошо себя зарекомендовали в эксплуатации. Мы построили их для Черноморского морского пароходства (ЧМП) более 20 ед. с учетом модернизированных судов типа «Харитон Греку».

За счет механизации трудоемких процессов повышалась производительность труда, снижалась себестоимость судов, росла чистая прибыль. Мы имели оборотные средства выше норматива, что позволяло нам исправно платить налоги и зарплату, расширять и технически перевооружать производство, развивать социальную сферу, строить жилье. Труд николаевских корабелов высоко ценился, достойно отмечался премиями и наградами.

И вот, провозгласив независимость, к власти пришли новые исполнительные органы. Судостроители первыми ощутили их «стиль и принципы». Под видом реформиро-

вания экономики руководители «суверенных» властных структур принялись активно разрушать достигнутое, не забывая под рыночные лозунги о личных интересах. Раздувая штаты бюджетной сферы, создавая все новые и новые структуры и увеличивая действующие, такие как министерства, таможенные и другие комитеты, государственные и налоговые администрации, правоохранительные органы, зарубежные посольства и консульства, огромный президентский аппарат, структуры Кабмина, Верховного Совета и т. д., в поисках средств для содержания полчищ чиновников начали громить промышленность, в том числе и судостроительную, специфику которой не понимало и до сих пор не понимает большинство руководителей разного уровня из названных выше структур.

А специфика судостроения заключается в необходимости поэтапной оплаты строительства судов, так как оборотные средства при строительстве средних и крупных судов возвращаются через год и более. Поэтому даже кратковременное отсутствие оборотных средств в процессе производства губительно для судостроительного завода, задержка оплаты поставок застопорит сами поставки, а их у судостроителей более 500 видов. Догнать упущенное время очень сложно, а срыв контрактных сроков сдачи судов приведет к серьезным штрафным санкциям и в конечном итоге — к потере заказчика.

Видя разваливающуюся экономику Украины, частую смену правительств, как правило, не желающих отвечать по предыдущим обязательствам, нестабильное положение в стране (забастовки, выступления стачечных комитетов и др.), наши иностранные партнеры стали проявлять осторожность и недоверие к нам, предлагая контракты уже на условиях зарубежных требований, т. е. с оплатой 10% стоимости судна с определенными гарантиями после подписания контракта и 90% — при передаче готового судна. Такие условия судостроителей не удовлетворяли, так как лишали их оборотных средств, достаточных для строительства судов. Так, завод «Океан» потерял возможность заключения целого ряда контрактов на строительство новых балкеров типа «Киев».

Имея хорошие партнерские отношения с ЧМП, мы совместно искали возможности финансирования строительства этих судов, спроектированных с учетом последних достижений науки и техники. Вышли на крупного немецкого бизнесмена, владеющего десятком судов и судостроительным заводом. Побывав на этом предприятии, воочию убе-

дились, как можно добиться многого при широкой кооперации между заводами. Переговоры длились долго, но закончились успешно: бизнесмен готов был выделить ЧМП кредит на строительство четырех судов с минимальной платой за пользование кредитом, а ЧМП заключает с «Океаном» контракт и осуществляет поэтапное финансирование. При этом первое и третье судно получает ЧМП, а второе и четвертое — кредитор-бизнесмен.

Гарантию первоклассного европейского банка мы не могли представить и, чтобы схема финансирования заработала, ЧМП предложило заложить в пользу кредитора девять старых судов типа «Зоя Космодемьянская». Такая сделка устраивала всех, и мы подписали протоколы намерений. При подготовке контрактов на этих условиях бизнесмен проявил заинтересованность в покупке пакета акций завода «Океан» и выделении инвестиций. Только так можно решать вопросы выживания в рыночных условиях.

Вернувшись с переговоров, мы подготовили обстоятельное письмо Президенту с просьбой разрешить залог старых судов для финансирования выгодной сделки. И тут мы убедились в полном непонимании проблемы ни со стороны главы государства, ни со стороны Верховного Совета. Нас не приняли даже для личного доклада. Дилетантизм людей, не способных оценить обстановку и сделать соответствующие выводы, серьезно навредил заводу. Они не захотели познать: чтобы победить в рыночной экономике, приходится иногда идти на разумный риск. А здесь он был минимален: завод «Океан» был уверен, что при поступлении оборотных средств новые балкеры будут построены в контрактные сроки и, следовательно, заложенные суда останутся у своего владельца — ЧМП. Был нанесен непоправимый удар по отечественному судостроению и потерял иностранный инвестор. Так печально закончилось «обновление» транспортного флота Украины.

Нельзя не вспомнить постановление Кабмина и Национального банка о валютной политике, согласно которому каждое предприятие, получившее валюту за свою продукцию, обязано было 50% ее продать Нацбанку по значительно заниженному, в сравнении с биржевым, курсу! Взаиморасчеты между предприятиями стран СНГ запрещалось производить в валюте, разрешалось только в национальной, т. е. в карбованцах. Таким образом, и остальную валюту приходилось продавать Национальному банку, правда, уже по биржевому курсу, но с удержанием определенных процентов за конвертацию. Это был первый ощутимый удар по промышленности, и особенно по судостроению — экспортеру судов.

Предприятия России, самого крупного поставщика комплектующих изделий и материалов для судостроения, отказались

поставлять продукцию без предоплаты в долларах или рублях. Такая «валютная политика» Нацбанка в очень короткий срок лишила нас оборотных средств. Мы оказались неплатежеспособными при покупке материалов, оборудования, своевременной выдаче зарплат. И, как следствие, начала разваливаться так хорошо отлаженная внутриотраслевая кооперация.

Лишившись оборотных средств, заводы начали обращаться в банки за кредитами. И тут наносится второй удар по промышленности. Государственные банки вдруг стали коммерческими, получив от Нацбанка лимиты на кредитование под 100—200—300% годовых. Такие проценты трудно осилить даже коммерческим структурам при месячном товарообороте по схеме «купи—продай». Но мы, так называемые «красные» директора, вынуждены были брать кредиты, чтобы полностью не остановить производство, хотя не представляли, как и когда сможем вернуть долги.

Предвидя это, Национальный банк предоставил коммерческим банкам право при поступлении денег на расчетный счет предприятия ежемесячно безакцептно списывать на свой счет банковские проценты, а они были весьма существенными (20—25% в месяц). Таким образом, заводы были лишены оборотных средств для остальной деятельности.

Снова залихорадило производство, предприятия разорялись, начали останавливаться, задерживать выдачу заработной

платы работникам. Но зато зарплата и пенсии банковских сотрудников, чиновников администрации, советов, таможен, налоговых инспекций постоянно возрастали в сравнении с зарплатой товаропроизводителей.

80—85% заработанных предприятием средств отбиралось в виде налогов, пошлин и других поборов.

Дальше — хуже. Правительство, введя институт посредников, разрешило энергетикам поднять тариф на электроэнергию, газ и уголь. Это был третий сокрушительный удар, так как он привел к резкому росту цен на всю промышленную, продовольственную продукцию и коммунальные услуги. Даже металл настолько подорожал, что его выгоднее было покупать за рубежом, чем в Украине.

С учиненными погромами промышленности боролись на всех уровнях, как могли. В правительстве, Верховном Совете, у Президента чиновники выражали озабоченность, делали вид, что разделяют наши тревоги, обещали поддержку товаропроизводителям, но мер, кроме выхолощенных постановлений Кабмина, не принимали. Созданное для управления промышленностью министерство, у которого в подчинении было около 3000 предприятий, но не было денег, также не могло решить ни одного вопроса. Предприятия одно за другим начали останавливаться.

Какие радикальные решения можно предложить? Прежде всего, необходимо списать с предприятий искусственно соз-

данные долги или отложить их возврат хотя бы на пять лет; совместно с отечественными судовладельцами определить наиболее перспективные, прибыльные суда; выделить украинским судовладельцам долгосрочные (не менее чем на пять лет) кредиты под 6—8% годовых (начало погашения — через год после сдачи судна в эксплуатацию); украинским судовладельцам заказывать суда за счет полученного кредита только на отечественных судостроительных предприятиях; пересмотреть дискриминационные законы, вернув, таким образом, оборотные средства предприятиям; совершенствовать систему налогообложения — все виды налогов и пошлин не должны превышать 30—35% доходов; отсрочить налоговые платежи минимум на один год, дав возможность предприятиям сосредоточить капитал на восстановлении утраченного производственного потенциала.

Для реализации этой схемы возрождения судостроения Украины средства должны быть найдены, в противном случае не останется другого выхода, как продать за бесценок контрольные пакеты акций судозаводов Украины и навсегда распрощаться с такой престижной и доходной отраслью, как судостроение.

Простит ли такой шаг история?!

**Нодари Чантурия,  
заслуженный работник  
промышленности Украины**

## ФРЕГАТ «ШТАНДАРТ» — ОСУЩЕСТВЛЕННАЯ МЕЧТА

Первенец Балтийского флота России — 28-пушечный фрегат «Штандарт» — был построен на Олонецкой верфи на реке Свирь (ныне Лодейное Поле) в 1703 г. при непосредственном участии Петра I, вскоре после возвращения царя из Англии и Голландии, где он изучал корабельное дело. Фрегат построили в числе первых десяти кораблей примерно за пять месяцев (24 марта—22 августа).

Свое имя корабль получил в честь изменения царской геральдики после завоевания выхода в Балтийское море — прежде двуглавый орел на императорском штандарте держал карты трех морей (Белого, Каспийского и Азовского); теперь же — «четвертое море присвокуплено». Первые годы Петр Михайлов, он же император Петр I, был капитаном корабля.

«Штандарт» принимал активное участие в Северной войне. В 1719 г. по указу Петра I он поме-

щается на стоянку в Кронверскую протоку в Санкт-Петербурге, чтобы «сохраняться вечно как первенец флота и памятник отечественного кораблестроительного искусства».

Однако после проверки его состояния в 1727 г. и попытки реставрации императрица Екатери-

на I издает другой указ, в котором говорится, что «для памяти велено было хранить, но за гниlostию в сохранении никак удержать не могли. В память его имени, какое Его Величеством Петром I было дано, заложить и сделать новый». Имя «Штандарт» стали давать царским яхтам.



На стапеле



Подготовка к подъему плавучим краном

Идея воссоздания исторического корабля в наши дни реализована группой энтузиастов под руководством В. В. Мартуся — кораблестроителя, яхтсмена, капитана. Чертежи были реконструированы в результате трехлетней работы историка В. Г. Крайнюкова, а затем адаптированы к современным требованиям и детализованы В. В. Мартусем, который возглавил строительство фрегата.

Точная копия «Штандарта» была заложена 4 ноября 1994 г. на открытой строительной площадке на берегу Невы, невдалеке от Смольного собора. Свою самодельную верфь энтузиасты, начав-

шие строительство на свой страх и риск, назвали «Петровское Адмиралтейство».

Через пять месяцев после закладки, 8 апреля 1995 г., был поставлен и освящен первый шпангоут, а ровно через год готовый набор стали обшивать досками.

**Фрегат «Штандарт»**

Длина, м	34,5
Ширина, м	6,9
Осадка, м	2,5
Водоизмещение, т	220
Площадь парусности, м <sup>2</sup>	710
Количество парусов	21
Вспомогательные двигатели, л. с.	2 x 500
Высота мачт, м	30
Постоянная команда, чел.	10
Ученики, чел.	30

Спонсором — основателем проекта воссоздания «Штандарта» — стала английская выставочная фирма Dolphin Exhibitions. С мая 1998 г. патроны проекта — губернатор Санкт-Петербурга В. А. Яковлев и его королевское высочество принц Эндрю герцог Йоркский. В их присутствии 30 мая 1998 г. в День города, состоялась официальная церемония наречения корабля. Строительство активно поддерживали администрация Санкт-Петербурга, правительства Великобритании, Нидерландов, Норвегии.

Участвовать в возрождении «Штандарта» мог каждый — своим



Корабль на стропях плавкрана «Богатырь-4»

трудом, знаниями, деньгами. И вот 4 сентября 1999 г. могучий плавкран «Богатырь-4» грузоподъемностью 300 т, предоставленный ОАО «Морской порт Санкт-Петербурга», бережно поднял красавец-корабль с кильблоков и плавно опустил его на воду.

Спуск, спонсором которого, как и всей многолюдной церемонии, была фирма «Русский Стандарт», прошел успешно.

Первое 15-километровое путешествие по Неве от Смольного к Гавани Васильевского острова для участия в международной выставке «Нева-99» фрегат «Штандарт» предпринял с помощью буксира



Фрегат «Штандарт»



На плаву



Пушечный порт с неигрушечной пушкой

БТ-802, предоставленного ГБУ «Волгобалт» в ночь с 20 на 21 сентября. Лоцманскую проводку обеспечило ОАО «Ленинградский речной порт». В дни выставки вход на борт корабля для всех был свободный.

Впереди — окончательная достройка на плаву и первое плавание летом 2000 г., в которое пойдет команда строителей фрегата по маршруту петровского «Великого Посольства».

По замыслу его создателей «Штандарт» станет не только кораблем-музеем, но и учебным парусником, на борту которого участники международной молодежной команды смогут проявить себя в открытом море.

В заключение назовем тех, кто помог осуществлению проекта: Stichting DOEN, VOLVO, George John Livanos Charitable Trust, AKZO NOBEL, СПМБМ «Малахит», порт города Роттердам, Российский Морской Регистр Судостроения, Mr. Ingram Murrey, B.E.S.O., ABN—AMRO, Cadbury, Mobil, Unilever, DTZ, KLM, Mikel & Ebby Pyman, Baltic Petroleum, British Airways, British Rail, Clyde and Co., Fred M. Walker, Idea Maroc, Lamb Hotels, Mercury Asset, Mr. G. Hinckley, Mr. N. Murrey, PLD, Pulford Enterprises, Rothmans, Seattle Centre for wooden boats,

St. Petersburg Collection, St. Petersburg Times, ОАО «Балтийский завод», АО «Ижорские заводы», Парголовский лесхоз, провинция Флеволанд (Нидерланды), Сестрорецкий инструментальный завод, GIBB, Furness Port Logistics, Mr. Glen Williamson и др.

В планах международной некоммерческой организации «Проект Штандарт» — воссоздание королевской яхты Royal Transport, которая была подарена Петру Первому в 1697 г. английским королем Вильгельмом III.

... Мечта есть у каждого. Кому-то удастся ее осуществить, кому-то нет. Но надо пробовать. «Проект Штандарт» — это шанс для тех, кто хочет испытать себя, проверить свои силы, кто не боится трудностей.



Вид на корму с палубы бака (в период выставки «Нева-99»)



В квартердеке



Спуск на воду успешно завершен

Фото А. Н. Хаустова

# ЗАРУБЕЖНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Правила постройки корпусов военных судов** (LR's Naval Ship Rules) планирует опубликовать классификационное общество Lloyd's Register (LR) в начале 2000 г. Соответствующие работы по контракту с Министерством обороны Великобритании начались в сентябре 1997 г. Они базировались, в частности, на положительном опыте участия специалистов LR в проектировании и постройке вертолетоносца «Осеап» (контракт на постройку был выдан верфи Vickers Shipbuilding and Engineering Ltd в 1993 г., корабль вошел в строй в начале этого года в качестве замены устаревшего вертолетоносца «Hermes»), а также вспомогательных кораблей и стеклопластиковых учебных судов ВМС (с 1985 г.). На класс LR уже строятся два десантных корабля и еще два вертолетоносца «Albion» и «Bulwark». Интерес к новым правилам проявляют и ВМС других стран — уже заключены контракты на проектирование по правилам LR трех современных кораблей (100A1. The Magazine of the LR Group. 1999. N 122. Issue 2. P. 24, 25).



Английский вертолетоносец «Осеап» для 12 средних вертолетов и шести вертолетов типа «Лунх» (размеры ангара 111,6 x 21 x 6,2 м) создавался с участием специалистов классификационного общества LR

**Национальная судостроительная научно-исследовательская программа Maritech**, спонсируемая правительством США, нацелена на создание передовых судостроительных предприятий, которые смогли бы успешно бороться на мировом рынке за коммерческие заказы. Повышение эффективности производства, снижение себестоимости продукции должно позволить американским судостроителям, ориентированным ранее, главным образом, на заказы ВМС, не только увеличить свою долю в мировом портфеле заказов, но и снизить расходы на военное кораблестроение. Основные области инвестиций (таблица) потребуют в 1999—2003 гг. около 400 млн дол.

Чтобы крупные верфи США соответствовали стандартам современных верфей Европы и Юго-Восточной Азии, необходимо в каждую верфь вложить 150—250 млн дол. Заканчивающаяся реконструк-

Планируемые расходы (млн дол.) на исследования и разработки для повышения технического уровня верфей США по программе Maritech на 1999—2003 финансовые годы

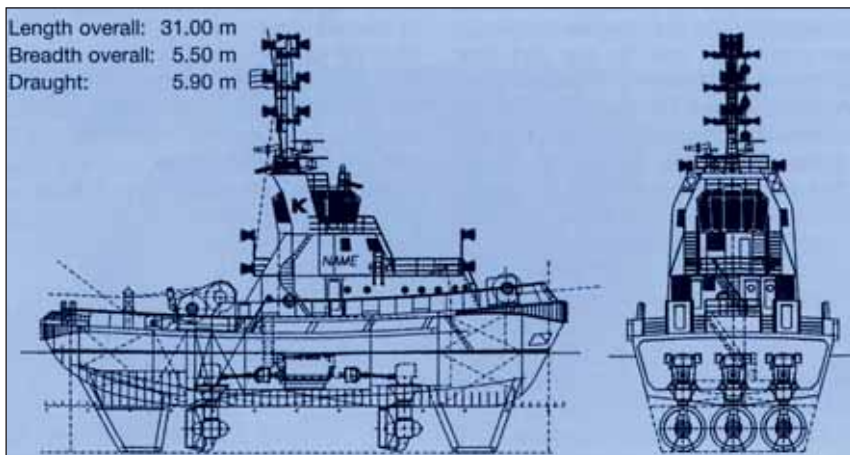
Область инвестиций	1999	2000	2001	2002	2003	Всего	%
1. Технология производства	7,7	16,2	24,6	25,9	25,0	99,4	25
2. Технология ведения бизнеса	6,4	7,7	7,0	5,4	5,4	31,8	8
3. Проектные процессы и поставки	9,0	17,0	16,0	16,7	16,5	75,2	19
4. Системные технологии	17,0	30,0	30,0	32,0	23,0	132	33
5. Оборудование и инструменты	6,6	7,8	6,5	5,4	3,9	30,2	7
6. Обучение, трансфер технологий, организационные изменения, защита среды, безопасность, охрана труда	5,6	8,7	7,1	5,5	5,4	32,3	8
ИТОГО:	52,3	87,4	91,2	90,8	79,2	400,9	100

ция судостроительной верфи Kvaerner Philadelphia оценивается в 400 млн дол. (The Motor Ship. 1999. Vol. 80. N 949. VIII. P. 47, 48).

**SCHOTTEL GmbH & Co. KG** — новое название немецкой фирмы SCHOTTEL — Werft Josef Becker GmbH & Co. KG. Смена названия связана с тем, что прежнее название («верфь») ассоциировалось с постройкой судов, и фирма иногда воспринималась как конкурент по отношению к другим верфям. На самом деле фирма специализируется на разработке и изготовлении пропульсивных систем. Недавно она поставила полноповоротные винторулевые колонки типа SRP 1212 мощностью 1560 кВт при 1600 об/мин для серии из четырех буксиров, заказанных голландской компанией Kotug одной из испанских верфей. Буксиры — нового поколения, так называемые «Rotor Tug», имеют тягу на гаке 74 т и скорость на свободной воде 13 уз. Каждый буксир оборудован тремя винторулевыми колонками (две в носу, одна в корме), обеспечивающими повышенные характеристики маневренности. Длина судна 31 м, ширина 5,5 м, габаритная осадка 5,9 м (SCHOTTEL Report. 1999. N 14).

**Прототип фрегата-тримарана** планирует построить по заказу Министерства обороны Великобритании верфь Vosper Thornycroft к осени 2000 г. Корабль водоизмещением 1100 т будет иметь наибольшую длину 97,8 м, ширину 22,5 м, высоту борта 9,2 м. Испытания корабля должны подтвердить преимущества тримарана перед обычным фрегатом: более высокую устойчивость к боевым повреждениям, увеличенную площадь палубы для размещения вооружения и вертолетов, уменьшенное (до 20%) сопротивление движению благодаря использованию «тонких» корпусов и, следовательно, меньший расход топлива и т. д. Специалисты ВМС США также примут участие в испытаниях тримарана. Интерес к проекту проявляют военные моряки Германии, Нидерландов, Италии и Австрии (Schiff & Hafen. 1999. VI. S. 77).

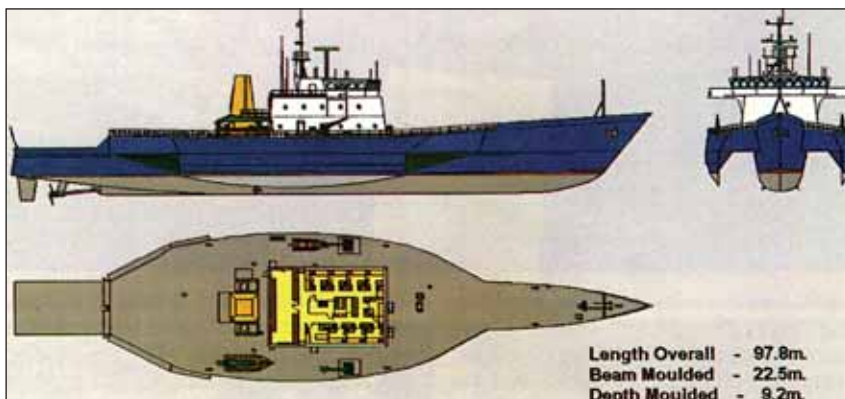
**Продолжающийся рост заказов на круизные лайнеры**, по данным Osapa Shipping Consultants, может в скором времени привести к перепроизводству таких судов. К началу 1999 г. мировой флот круизных судов увеличился по сравнению с 1993 г. на 22%, с 286 до 349 ед. Если данная тенденция сохранится, общее число спальных



Буксир типа «Rotor Tug» с тремя полноповоротными винторулевыми колонками SRP 1212 фирмы SCHOTTEL GmbH & Co. KG

мест на лайнерах возрастет с 216 000 в настоящее время до 275 000 к 2004 г. Следствием перепроизводства могут быть снижение цен на новые круизные лайнеры и списание устаревшего тоннажа. (The Motor Ship. 1999. Vol. 80. N 950. P. 7).

**Канада планирует возрождение своей судостроительной промышленности.** С этой целью руководство национальных верфей и судоходных компаний подготовило совместный доклад о стратегии работ в этом направлении. Доклад подтверждает тот известный факт, что почти все страны с развитым судостроением в той или иной форме поддерживают свои верфи. Несмотря на то, что уровень оплаты труда рабочих в Канаде ниже, чем в США, Германии и Японии, указанный доклад призывает канадское правительство обеспечить льготы судостроителям, в частности, ввести схему правительственных гарантий по кредитам типа американской («Title XI»), а также налоговые льготы (The Motor Ship. 1999. Vol. 80. N 950. P. 3).



Опытный фрегат-тримаран, строящийся на верфи Vosper Thornycroft

тейнеровозы и плавсредства для освоения шельфа, известна как одна из самых передовых верфей в мире, обладающая практическим опытом внедрения робототехники и лазерной сварки при постройке судов. Первое судно, на котором под наблюдением инспекторов ABS использовалась ла-

**«Waveloads»** — название научно-исследовательской программы, цель которой — разработка метода прогнозирования волновых нагрузок на корпуса современных высокоскоростных морских судов. Программа реализуется с 1 января 1998 г. по 31 декабря 2000 г. классификационным обществом Germanischer Lloyd вместе с другими европейскими организациями (Istituto Superior Tecnico, Canal de Experiencias Hidrodinamicas del Pardo, Bureau Veritas, National Technical University of Athens, Empresa Nacional Bazan). Существующие методы расчета базируются на опыте эксплуатации судов. Проектируемые сейчас высокоскоростные суда часто не имеют аналогов. С целью обеспечения безопасности их эксплуатации необходимы новые методы, позволяющие, в частности, оптимизировать показатели массы судна и надежности их корпусных конструкций. Программа предусматривает проведение соответствующих испытаний моделей в опытовом бассейне и расчетного анализа с помощью самой современной нелинейной двухмерной (полоски) теории (GL, Press News. 1999. 29/VI).

**Программа исследований сварки трением** (friction stir welding — FSW) алюминиевых сплавов осуществляется в Великобритании Институтом сварки (The Welding Institute). Она включает изучение возможностей применения данного метода в новых областях, в частности для судовых и толстолистовых конструкций. Сварка трением является весьма перспективной, однако верфи, строящие скоростные паромы из алюминиевых сплавов, медлят с ее внедрением, так как для этого требуется радикальное изменение технологии. В других отраслях промышленности (Boeing, Lockheed, NASA) уже оценили преимущества метода — отсутствие газовых выделений, яркого света, искр и шума; хорошая прочность на разрыв, практическое отсутствие сварочных деформаций. Проведенные испытания показывают, что механические характеристики фрикционных швов, в том числе усталостные, даже превышают обычные, сварные (The Motor Ship. 1999. Vol. 80. N 949. VIII. P. 48).



Роботизированная сварка корпусных секций на датской верфи Odense Steel Shipyard

**Язык макропрограммирования (ЯМП) для системы FORAN** разрабатывается специалистами испанской фирмы Sener. ЯМП позволит пользователям выполнять повторяющиеся задачи, определять свои собственные стандартные конструктивные решения и, в итоге, создавать программы, имеющие доступ к функциям и командам системы FORAN. Всеми преимуществами ЯМП сможет воспользоваться рядовой пользователь; обращение к нему не будет требовать специальных знаний по программированию. Пользователи смогут генерировать макрокоманды и добавлять их в стандартные меню.

Между тем, специалистам фирмы Sener потребовалось менее недели, чтобы установить в полном объеме последнюю версию системы FORAN, работающую под Windows—NT, на реконструируемой американской верфи Kvaerner Philadelphia. На этой в прошлом военно-морской верфи планируется постройка в двух сухих доках танкеров и контейнеровозов. После завершения в марте этого года первой стадии обширной программы обучения специалисты верфи приступили к созданию трехмерной модели контейнеровоза на 2900 TEU. (FORAN News. 1999. May. N 6).

**Датская верфь Odense Steel Shipyard (OSS)**, строящая танкеры, газозовы, кон-

зерная сварка (в ограниченных объемах) для соединения стальных листов, сдано в 1998 г. Пять лет назад фирма OSS начала расширяться; сейчас в концерн (8500 работников) входят пять верфей, два предприятия по выпуску контейнеров и две фирмы, специализирующиеся в области робототехники и программного обеспечения. В составе концерна — Volkswerft Stralsund в Германии, Balti Es и Loksa Shipyard в Эстонии, Baltija Shipbuilding в Литве, а также Suez Odense Marine Service — совместное судоремонтное предприятие в Египте (Surveyor. 1999. VI. P. 26).

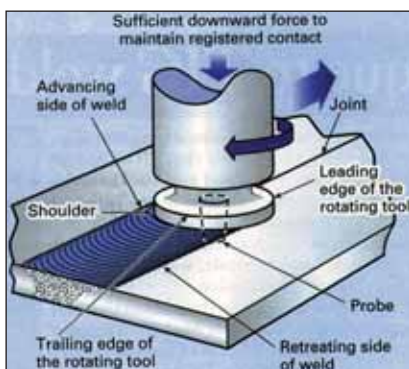


Схема процесса сварки трением

# ИСТОРИЯ СУДОСТРОЕНИЯ

## ТЯЖЕЛЫЕ КАНОНЕРСКИЕ ЛОДКИ ДНЕПРОВСКОЙ ВОЕННОЙ ФЛОТИЛИИ

И. И. Черников

27 августа 1919 г. Главнокомандующий вооруженными силами Советской республики приказал командованию Западного (бывш. Украинского) фронта передать Днепровскую флотилию в ведение командующего морскими силами республики, после чего началась коренная реорганизация флотилии.

Согласно приказу командующего флотилией от 15 сентября 1919 г. к началу навигации 1920 г. Днепровская военная флотилия должна была закончить свое переформирование и перевооружение кораблей. Новый состав флотилии включал в себя два дивизиона канонерских лодок для действия на южном (более глубоководном) и северном плесе реки. Первый дивизион предназначался, главным образом, для боя с флотилией противника и состоял из двух групп. Четыре тяжелых канонерских лодки первой

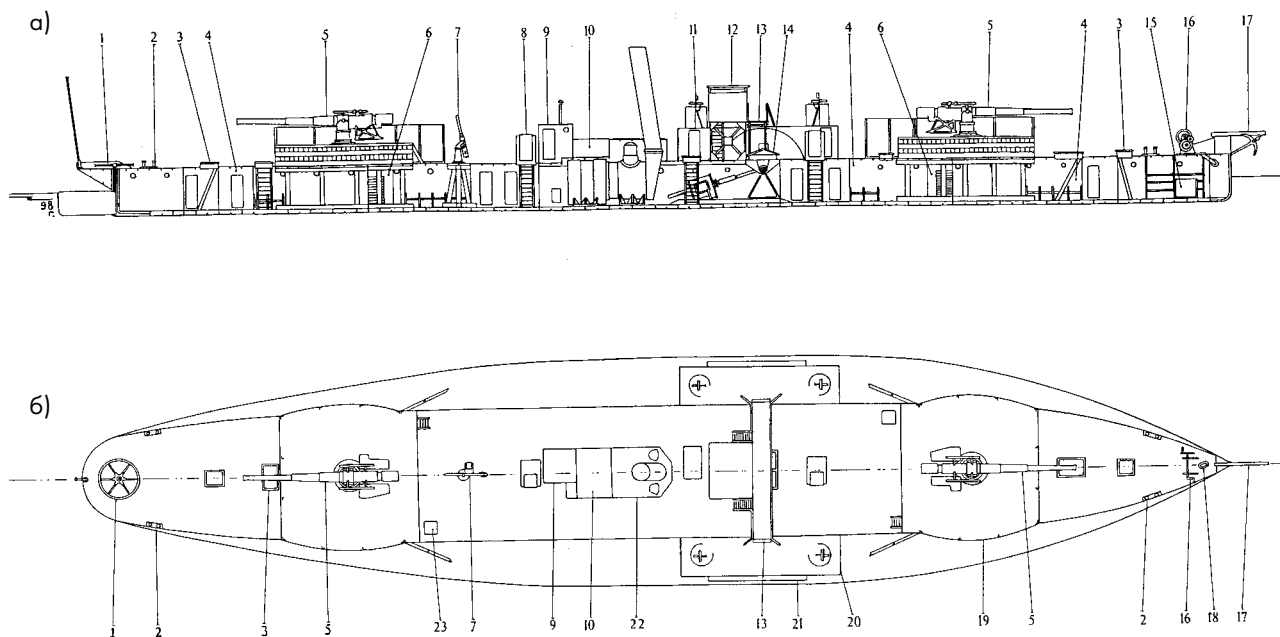
группы должны были иметь на вооружении по два 130-мм морских орудия. Каждая из четырех канонерок второй (легкой) группы вооружалась четырьмя 76,2-мм полевыми пушками на «судовой установке». Такое разделение на группы было вызвано сравнительной узостью реки, которая не допускала другого строя, кроме кильватерной колонны. Поэтому группа, замыкающая колонну и обладающая дальнобойной артиллерией, могла стрелять через голову авангарда. Каждый дивизион имел вспомогательный буксир с мощными водоотливными и пожарными средствами, а также штабной пароход.

6 октября 1919 г. бронепароходы были переведены в класс канонерских лодок и получили новые имена. В первых числах ноября 1919 г. начался зимний ремонт, работы по перевооружению и переоборудованию кораблей в связи с реорганиза-

цией флотилии. Проекты этих работ и предварительные сметы были составлены техническим отделом военного порта Днепровской флотилии. Кроме вооружения, бронирования и оборудования погребов боезапаса предполагалось: настлать полы и обшить борта в трюмах, установить заново каютные переборки и двери, сделать необходимое количество скамей, столов и табуретов, изготовить и установить на место мачты для подъема флажных сигналов и радиоантенн. Общая стоимость работ для корабля «тяжелой группы» первого дивизиона составляла около 3860 тыс. руб.

Тяжелая группа первого дивизиона состояла из следующих канонерских лодок: «Молниеносный» (бывш. «III Интернационал»), «Мстительный» (бывш. «Стенька Разин»), «Мощный» (бывш. «Троцкий») и «Могучий» (бывш. «Тиссен»). В прошлом — это близкие по типу товаропассажирские пароходы, имевшие довольно прочные корпуса и паровые машины.

Первые три корабля переоборудовались в Гомеле на механическом заводе Фрумина, который ранее



Канонерская лодка «Молниеносный»: а — продольный разрез; б — вид сверху;

1 — румпель; 2 — кнехт; 3 — люк схода; 4 — помещение команды; 5 — 130-мм пушка; 6 — погреб боезапаса; 7 — 37-мм пушка Виккерса; 8 — люк схода; 9 — камбуз; 10 — ящик для дров; 11 — пулемет; 12 — боевая рубка; 13 — ходовой мостик; 14 — световой люк над машиной; 15 — цепной ящик; 16 — ручной брашпиль; 17 — крамбол; 18 — палубный ключ; 19 — орудийная площадка; 20 — кожуховые каюты; 21 — кожух гребного колеса; 22 — кожух сухопарника; 23 — люк подачи боезапаса  
(© И. И. Черников. 1999)

По материалам РГАВМФ. Ф. р-139, р-140.

корпусными работами не занимался и, буквально перед этим, наспех, был к ним приспособлен. Из-за отсутствия доков, эллингов и подъемных кранов вооружение и ремонт кораблей проводились на плаву самым примитивным способом. В связи с острым недостатком котельщиков и плотников работы выполнялись крайне медленно и, отчасти, несовершенно. Это, главным образом, работы по установке подкреплений под орудия. Жизненно важные части кораблей защищались листовой сталью. Попутно ремонтировались корпус, механизмы и электротехника.

Работы на тяжелых канонерских лодках первого дивизиона, являвшихся ударной силой флотилии, проводились в самом спешном порядке. Лебедками и вручную 130-мм орудия затачивались с берега на основания по специально устроенным помостам, проложенным с корабля на корабль. Это привело к тому, что у «Молниеносного», имевшего наибольшую готовность и стоящего третьим от берега, была задержка с установкой второй пушки из-за не полностью сделанных подкреплений и орудийных площадок на «Мстительном» и «Мощном».

Канонерская лодка «Могучий» переоборудовалась в судоремонтных мастерских г. Чернобыля, который не имел железнодорожного сообщения. Поэтому установку орудий предполагалось провести в Киеве после открытия навигации.

Программа вооружения флотилии, принята осенью 1919 г., из-за острой нехватки орудий и материалов, а также недостатка топлива, рабочей силы и технических средств не была выполнена к началу навигации 1920 г. В начале марта начался ледоход в южной части Днепра, а 22 марта весь Днепр и его притоки очистились ото льда. К 25 марта все корабли из Гомеля и Чернобыля были переведены в Киев, где продолжалась их вооружение. В конце марта первым лодком из тяжелых канонерских лодок вошел в строй «Молниеносный», а 7 апреля 1920 г. он был отправлен на флот. В апреле же с большими недоделками сдали «Мстительный». Затраты, связанные с перевооружением и ремонтом, составили 2116 тыс. рублей на корабль.

6 мая 1920 г., в связи с наступлением поляков, Красная Армия на-



Корабли Днепровской военной флотилии. 1920 г.

чала эвакуацию из Киева. В этих условиях командование флотилии решило разделить ее на три группы. Одна из них должна была действовать на север от Киева, вплоть до Припяти, вторая — на реке Березина, и третья, состоящая из судов, требующих ремонта и довооружения, еще накануне эвакуации отправилась на юг в район Екатеринослава.

В среднем течении Днепра среди прочих кораблей остались канонерские лодки «Мстительный» и «Молниеносный», а также вся «легкая группа» 1-го дивизиона.

В Каменском на Государственном днепровском металлургическом заводе в мае 1920 г. закончили ремонт, бронирование и вооружение канонерских лодок «Могучий» и «Мощный».

Крепления под два 130-мм орудия в 55 калибров длиной из-за отсутствия стали и заводов, способных выполнять подобные работы, делались деревянными. Это ускорило вооружение. Извилистый фарватер и долина реки, покрытая кустарником, давали большие преимущества сухопутным пушкам, установленным на возвышенном берегу. Поэтому для увеличения горизонта у наводчиков орудия приходилось ставить как можно выше над палубой. Для 130-мм пушек на верхней палубе возводились площадки из деревянных брусьев, уложенных в штабеля крест-накрест. Брусья нижнего ряда крепились к палубе болтами и хомутами, а между собой и между рядами — хомутами и плотничьими скобами. Палуба в районе площадки подкрепля-

лась деревянными пиллерсами (бревнами), упертыми в стрингеры.

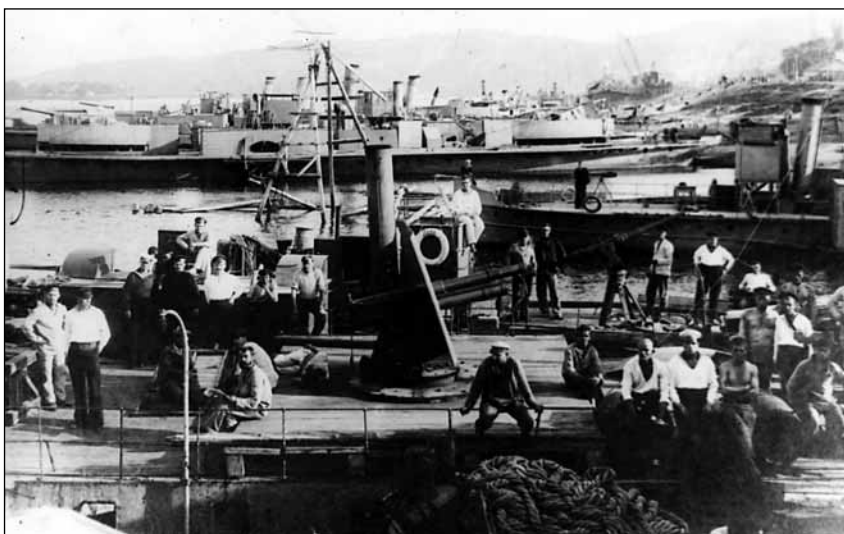
Погребов боезапаса оборудованы не были, и снаряды хранились в кубриках. Боезапас подавался вручную через люки в палубе.

Из-за отсутствия зенитных орудий от их установки вначале отказались, что тяжело отразилось во время летних операций 1920 г. На крайних кожуховых каютах стояли четыре пулемета.

Кожуховые каюты, сухопарники котлов, палуба и надводный борт в районе машины и паровых котлов, а также боевая рубка и орудия до высоты цапф защищались листами из 10-мм мягкой стали, которая не пробивалась винтовочной пулей с дистанции 100 саженой (213 м). Дополнительно, в помощь «броню», вдоль бортов укладывались штабеля дров, служившие также топливом для паровых котлов.

По проекту предполагалась защита погребов боезапаса 10-мм стальными щитами со стороны бортов и переборок, а также бронирование палубы в районе погреба, установка боевых крышек на иллюминаторы, но ничего этого весной и летом 1920 г. тяжелые канонерские лодки не имели. И все же в целом, по отношению к бронепарходам, защита канонерских лодок была значительно усилена. Помещения в корпусе были перестроены с учетом размещения личного состава: установлены койки, скамьи, столы и табуреты. Но работы были выполнены не полностью: остались незашитыми борта трюмов, не установлены





Посыльные суда и одна из канонерских лодок Днепровской военной флотилии. 1920 г.

некоторые каютные переборки и двери. По проекту предполагалась установка дополнительной камбузной плиты, что также не успели сделать.

На «Могучем» 24 мая 1920 г. была оборудована радиостанция. Крепления деревянных букв названий по бортам и окраска кораблей в защитный цвет завершали процесс переоборудования.

Весной и летом 1920 г. главную опасность для Советской республики представляли войска Польши. По плану контрнаступления, разработанному реввоенсоветом республики, Северный отряд Днепровской военной флотилии должен был переправить на западный берег Днепра ударную группу 12-й армии, которая охватывала затем Киевскую группировку противника с севера. На реке отряду оказывали противодействие три польские канонерки и другие суда различного назначения. Кроме того, активно действовала авиация и артиллерия противника. Для выполнения операции корабли отряда вышли из реки Сож и 2 июня 1920 г. форсировали укрепленный район у города Лоев, где поляки

имели 14 орудий, из них два 203-мм калибра. Шесть канонерских лодок Южного отряда в это время поддерживали наступление Юго-Западного фронта. 12 июня 1920 г. они подавили прибрежные батареи противника и первыми вошли в Киев. За проявленный героизм во время июньских боев у Триполья и Лоева 10 сентября канонерские лодки «Могучий» и «Мстительный» были награждены почетным революционным Красным Знаменем ВЦИК.

Опыт летних боев 1920 г. показал хорошую защиту и высокую огневую мощь тяжелых канонерских лодок Днепровской военной флотилии. Вместе с тем, выявилась слабость подкреплений под 130-мм пушки, что, уже после двух недель операций, поставило под угрозу выхода из строя самых сильных кораблей флотилии. 7 июня от интенсивной стрельбы у «Могучего» появилась течь и «расшатанность» палубы. На других кораблях положение было не лучше: после 11–12 бортовых залпов двумя орудиями из корпуса начинали вылезать заклепки, расходились швы небронированной части палубы. Эти повреждения моря-

ки устраняли на ходу, но они приносили большие неудобства и отнимали очень много времени на ремонт.

Во время июльских боев на «Могучем» разорвало 130-мм пушку. После освобождения Киева Первая Советская судостроительная верфь заменила ее на 76,2-мм полевую и, кроме того, установила 76,2-мм зенитную пушку Лендера. В первой половине июля на «Мощный» установили 47-мм зенитную пушку, а на «Молниеносный» и «Мстительный» — по одной 37-мм автоматической пушке Веккерса.

5 июля Первая Конная армия С. М. Буденного прорвала фронт поляков и двинулась на Варшаву. Днепровская военная флотилия быстро оказалась в глубоком тылу и в значительной мере потеряла свое боевое значение. 30 июля командующий Морскими силами республики приказал разоружить и передать водному транспорту восемь канонерских лодок (в том числе тяжелые «Молниеносный» и «Мстительный»). 130-мм пушки первого были сняты и отправлены на Черное море. Два 130-мм орудия «Мстительного» были направлены для ремонта на Обуховский завод.

21 октября «Могучий» повредил днище о подводный камень и затонул у села Каменское. 3 января 1921 г. Днепровский металлургический завод получил приказ снять артиллерию и начать подъем и ремонт этой канонерской лодки. Артиллерия с «Мощного» была снята после окончания навигации 1920 г. и тоже отправлена на Черное море.

Зимой 1920/21 г. Днепровский военный порт проводил текущий ремонт корпусов и механизмов тяжелых канонерских лодок. При этом, из-за неопределенной политической обстановки, предполагалось вооружить каждую из них двумя 107-мм армейскими пушками и зенитной пушкой Лендера. Для увеличения угла возвышения 107-мм орудий должен был применяться довольно остроумный способ установки банкетов, на которые пушки крепились за скобы, пропущенные под палубу. Этот способ, заимствованный у денкинской флотилии, заключался в том, что колеса лафета пушки опирались на банкет, выступающий над орудийной площадкой, а хобот орудия опускался на площадку и упирался в погон из углового железа, идущего вокруг оси

Тактико-технические элементы канонерских лодок Днепровской военной флотилии

Наименования канонерских лодок	Водоизмещение, т	Длина максимальная, м	Ширина максимальная, м	Осадка, м	Мощность машин, л. с.	Скорость хода против течения, км/ч	Экипаж по штату, чел.
«Могучий»	487	69,0	13,0	1,2	180	12,8	65
«Молниеносный»	451	60,6	11,9	1,4	180	12,9	65
«Мощный»	482	61,39	12,19	1,42	200	8,53	58
«Мстительный»	415	69,0	11,8	1,0	180	11,1	65

вращения орудия. В результате несколько увеличилась дальность 107-мм пушки.

Кроме того, предполагалось установить пулеметы на тренажеры, допускавшие угол возвышения 90°, а также усилить фальшборт в районе брашпиля и установить броневые щиты в погребах боезапаса. Однако 2 февраля 1921 г. последовало окончательное решение о разоружении и передаче канонерских лодок водному транспорту. Поэтому завод Фрумина в Гомеле, где ремонтировались «Мстительный» и «Молниеносный», Черныбыльские судоремонт-

ные мастерские («Мощный») и Днепровский металлургический завод («Могучий») получили указание снять «броню», орудийные площадки и выполнить необходимый ремонт корпуса и механизмов. 2 июля «Мощный» был вновь мобилизован и зачислен в отряд судов охраны Днепра, где находился до 30 ноября.

В навигацию 1924 г. начал эксплуатироваться первый в истории днепровского судоходства двухъярусный пароход «Коммунар» — бывшая канонерская лодка «Мощный».

Таким образом, в тяжелейших условиях гражданской войны удалось

создать самые мощные на Днепре канонерские лодки. Корпуса пароходов, однако, оказались слабыми для того, чтобы нести на себе 130-мм артиллерию. Опыт создания тяжелых канонерских лодок позволил впоследствии, в предвоенные годы, ввести в состав Амурской флотилии боевые корабли с 130-мм пушками, переоборудованные из речных пароходов. Во время Великой Отечественной войны на канонерские лодки Волжской военной флотилии также предполагалось установить 130-мм орудия. Однако этого сделать не удалось из-за отсутствия свободных пушек.

## СУДОРЕМОНТ НА ЧЕРНОМ МОРЕ В ГОДЫ ВЕЛИКОЙ ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ВОЙНЫ\*

В. С. Бирюк

Во второй половине 1941 г. на Черноморском флоте сложилась тяжелая обстановка с ремонтом катеров типа МО-IV. Судоремонтные мастерские Охраны водного района (ОВР) Главной военно-морской базы, перебазируемые из Балаклавы (бывшие мастерские 2-го отряда погрансудов) в Туапсе вместе с судоремонтными мастерскими Одесского 1-го отряда погрансудов, разместились в районе Туапсинского дивизиона пограничных катеров НКВД.

Эти мастерские проводили ремонт малых охотников, катеров различных типов, БТЩ типа «Гарпун», а также мелкий ремонт крейсеров и эсминцев. Штат объединенных мас-

терских состоял из 606 чел. Из них военнослужащих было 156 и вольнонаемных 450 чел. Судоремонтные мастерские ОВР возглавлял военный инженер 3-го ранга В. А. Капкин. Производственная программа мастерских на 1942 г. представлена в табл. 1.

Данные по малым охотникам, прошедшим ремонт в мастерских только в феврале 1942 г., отражены в табл. 2. Ремонт всех катеров проходил с большим опережением по срокам, несмотря на то, что большинство из них поступало вне плана. Уже с марта 1942 г. обстановка на Черном море и большая потребность в катерах МО-IV заставили командо-

вание присылать катера на ремонт в неплановом порядке.

Существовавшие штаты судоремонтных мастерских ОВР были рассчитаны на текущий ремонт сторожевых катеров (СКА) с незначительными объемами работ и наличие ремонтных баз в Одессе, Очакове, Севастополе. В начале 1942 г. ремонт всех СКА сконцентрировался в мастерских ОВР.

Большую помощь в судоремонте оказывали рабочие-рационализаторы. Так, для ремонта поврежденных бензоцистерн на малых охотниках необходимо было выполнить трудоемкую работу: снять ходовую рубку, вскрыть деревянный настил палубы в районе расположения цистерн, вытащить цистерны на берег. Перед заделкой пробоин цистерну нужно было залить горячей водой для удаления паров бензина и только после этого приступать к ремонтным работам. В итоге вся операция по демон-

Таблица 1

Производственная программа мастерских ОВР на 1942 г.		
Объект ремонта	Количество	Норма на один объект, ч
Моторы ГАМ-34	1080	640
Моторы ЗиС-5	360	120
Моторы Л-6/2	720	45
Моторы ЧТЗ	72	220
Моторы «Стерлинг-Дельфин»	48	330
Моторы «Стерлинг-Викинг»	24	450
Моторы В-2	24	800
Компрессоры ВД	720	40
Катера типа МО	288	1150
Катера типа ПК	120	650
Катера типа КМ	180	500
Катерные тральщики (КТЩ)	72	850

Таблица 2

Малые охотники, прошедшие ремонт в мастерских ОВР в феврале 1942 г.		
Наименование	Норма времени, чел.-ч	
	заданная	фактическая
СКА-0111	602	384
СКА-075	1734	1231
СКА-061	465	447
СКА-051	2065	1460
СКА-129	1456	1040
СКА-032	1445	1026
СКА-121	1896	1335
СКА-095	302	217
СКА-025	303	255
СКА-052	1768	1251

Примечание. На СКА-052 по плану была предусмотрена только смена главных моторов, но вне плана он прошел еще докование и текущий ремонт. Остальные катера ремонтировались.

\*По материалам ЦВМА. Ф. 1087, 2089, 2217, 5218. Окончание. Начало см.: Судостроение. 1999. № 3.

Таблица 3

Расход моторесурса малых охотников  
1, 2, 5 и 8-го ДСКА  
за I квартал 1943 г.

Бортовой № катеров	Число ходовых часов	Пройдено миль
<b>1-й ДСКА</b>		
СКА-011	320	3614
СКА-031	340	2745
СКА-041	391	3306
СКА-081	339	3281
СКА-091	351	3294
СКА-0101	592	5172
СКА-0111	84	873
СКА-0141	150	1180
<b>2-й ДСКА</b>		
СКА-022	534	4747
СКА-032	506	4104
СКА-052	550	4905
СКА-072	465	4884
СКА-082	125	1450
СКА-0102	224	2522
СКА-0122	425	4071
СКА-0132	106	663
<b>5-й ДСКА</b>		
СКА-015	467	3960
СКА-025	804	6822
СКА-035	330	2666
СКА-045	500	3674
СКА-065	560	4986
СКА-075	602	4810
СКА-085	489	4033
СКА-095	474	4080
СКА-0105	619	4800
СКА-115	252	2100
<b>8-й ДСКА</b>		
СКА-018	290	2100
СКА-048	404	3289
СКА-078	200	1775
СКА-098	426	4270
СКА-0108	318	2701

тажу и установке бензоцистерн на место занимала в среднем 10 сут. Причем в работе принимали участие плотники, слесари, автогенщики. Казалось бы, небольшой ремонт цистерн занимал 300 чел.-ч и выражался суммой от 900 до 1000 руб. Сле-



Один из малых охотников Черноморского флота — СКА-1012 («Морская душа»)

сарь В. П. Бердник предложил особое приспособление для заделки пробоин поврежденных цистерн на месте, не вынимая их из бензоотсека катера и без автогенной сварки: вытачивались два стальных стакана, которые устанавливались с внутренней и наружной стороны стенки цистерны. Между стенкой цистерны и стаканом устанавливалась свинцовая прокладка. Оба стакана прижимались к стенке стяжным болтом. Таким образом отверстие плотно глушилось и ремонт на этом заканчивался. Вся операция занимала от 10 до 40 чел.-ч в зависимости от количества пробоин и выражалась суммой в 72 руб. Ремонт сокращался по времени в среднем в 7,5 раз.

Малые охотники, непрерывно выполнявшие боевые задания, постоянно подвергались опасности быть подрванными на магнитных минах противника из-за отсутствия у них противоманнитной защиты. Для

устранения этого недостатка в августе 1942 г. было налажено размагничивание малых охотников типа МО-IV безобмоточным методом. Размагничивание проводилось в Батуми и в небольших количествах (10—12 ед.) — в Поти.

Моторесурс главных двигателей малых охотников вырабатывался значительно больше, чем предусматривалось нормами эксплуатации, и в некоторых случаях превышал их в два раза. Наибольший моторесурс был у катеров 2-го и 5-го дивизиона сторожевых катеров (ДСКА), которые в большей степени привлекались к выполнению боевых заданий (табл. 3). Перерасход объяснялся не только напряженностью боевой обстановки, но и тем, что БЧ-5 на малых охотниках возглавляли опытные командиры-механики, следившие за материальной частью и уделявшие ей много внимания и физических сил.

В апреле 1943 г. приказом командующего Черноморским флотом плавучая мастерская «Металлист» с 220 рабочими была закреплена за БТЗ и дислоцировалась на реке Хоби. Одновременно командование БТЗ передало командиру Туапсинской ВМБ филиал своих судоремонтных мастерских в Сочи, которые впредь стали именоваться «Судоремонтная мастерская № 1099».

В конце 1943 г. в состав 4-го ДСКА вошли прибывшие с завода малые охотники, втулки кронштейнов гребных валов у которых были залиты баббитом. Через 100—150 ч работы моторов баббит имел большую



В ходе боевых действий сторожевые катера нередко получали серьезные повреждения

выработку и в дальнейшем этот эксперимент развития не получил. Надежнее всего все же оказался бакаут.

Втулки кронштейнов гребных валов из-за отсутствия бакаута стали набирать самшитом. Самшитовые подшипники срабатывались через 120—150 ч работы. Бакаута хватало на 300 ч, что позволяло менять его одновременно с выработкой моторесурсов главных моторов в случае плановых ремонтов.

С первых дней организации в 1944 г. Керченской ВМБ ее техническое отделение приступило к ремонту катеров и других плавсредств. При плавании в Керчь-Еникальском проливе из-за малых глубин с песчаным грунтом бакауты втулки подшипников гребных валов изнашивались быстрее и даже выкрашивались. Так, СКА-036 полностью «разбил» подшипники всех трех валопроводов за 120 ход.ч, а СКА-0106 — за 200 ч.

В конце сентября 1943 г. в Анапе приступили к созданию судоремонтных мастерских ОВР Керченской ВМБ на базе трофейного оборудования, одновременно ремонтируя приходящие туда катера.

16 октября 1943 г. группа работников мастерских прибыла в Тамань для ремонта десантных ботов. Срочно был построен подъемник. 7 ноября организовали ремонт плавсредств в Сенной, а 28 декабря начали налаживать ремонт судов на косе Чушка, где были сосредоточены две авиаремонтные роты общей численностью 230 чел., включая 15 специалистов по ремонту моторов и судоремонтную мастерскую в составе 46 рабочих, специализировавшихся на ремонте корпусов и судовых валопроводов. С 1 января по 1 мая 1944 г. там выполнили 596 ремонтов кораблей. Станочный парк мастерских состоял из двух токарных станков, двух аппаратов для электросварки, двух аппаратов для газовой сварки и кузницы с одним горном.

28 мая на проходивших сборах инженеров-механиков Керченской ВМБ отмечалось, что вследствие наличия на ряде малых охотников экипажей, воюющих с первых дней войны, эксплуатация материальной части находилась на высоком уровне. Поэтому, например, СКА-026 проплавал 490 ч вместо положенных 300 ч без смены моторов, СКА-046 проплавал на 100 ч больше, СКА-056, СКА-066 и другие ка-



Повреждения СКА-0102, полученные в ходе Керченско-Эльтигенской операции

тера вырабатывали моторесурс больше положенного без поломок и выхода из строя материальной части.

На большинстве малых охотников все же имела место сильная вибрация гребных валов ввиду сильного износа упорно-опорных шариковых подшипников. Даже при хорошей центровке гребной системы вибрация начиналась через 80—100 ч работы моторов.

Уже к концу 1943 г. моторы ГАМ-34 имели большой износ цилиндров, поршней и поршневых колец, вследствие чего они работали с большим дымлением и повышенным расходом бензина и масла. Масляные радиаторы на большинстве катеров проработали без замены по-

несколько лет и имели настолько сильную коррозию от воздействия забортной воды, что после 10—15 ч работы давали течь как наружу, так и внутрь. Из-за этого катера были вынуждены часто становиться на ремонт для устранения подобных дефектов. Помпы бензиновые, водяные, масляные на моторах ГАМ-34 не создавали нужного давления из-за сильного износа шестерен. Набивка сальников поставлялась низкого качества, и поэтому после 30—40 ч работы появлялась сильная течь.

Часто предусмотренные инструкцией по эксплуатации и обслуживанию осмотры моторов через 30, 50 ч и более не проводились. В лучшем случае первый осмотр осуществлялся через 60—80 ч. Это



Спуск на воду сторожевого катера СКА-0102 после ремонта

объяснялось исключительно напряженной боевой деятельностью малых охотников.

В течение 1944 г. на Черноморском флоте поступление импортной техники для катерных соединений достигло максимума. Количество катеров с новой техникой по отношению к штатной составляло 120%. При этом поступили различные двигатели, работавшие на легком и тяжелом топливе: «Паккард», «Ломиер», «Крайслер», «Континенталь», «Холл-Скотт» и др. У двигателей «Паккард» сразу же выявилась характерная неисправность: появление течи в наружных рубашках блоков цилиндров в местах пайки. В результате имело место увеличение аварийности.

Но, несмотря на возникшие трудности, связанные с новой техникой, личный состав катеров и судоремонтных мастерских осваивал ее успешно. Надежность отечественных

катеров показательна на примере катеров типа КМ, которые, как и катера МО-IV, тоже были деревянные. Так, корпуса этих катеров во время десантных операций на Керченском полуострове в 1943 г. выдерживали удары о грунт при 5-бальном шторме без особых повреждений. Но гребная система из-за малой защиты при посадке на грунт сразу же выходила из строя.

В том же году на флоте произошла реорганизация соединений малых охотников, в результате которой аббревиатура СКА была заменена на МО.

Крупные корабли в ходе Отечественной войны все же использовались меньше, чем те же малые охотники. Крейсер «Красный Кавказ» в походах и боях прошел свыше 13,5 тыс. миль. За тот же период боевых действий, например, малый охотник СКА-022 преодолел свыше 70 тыс. миль.

Более детальное изложение единичных ремонтов кораблей эскадры описано достаточно полно как в мемуарах военачальников, так и в специальной литературе.

Опыт войны показал, что необходимо уделять больше внимания плавучим мастерским, способным переходить в случае необходимости в районы, достаточно удаленные от боевых действий; целесообразно развитие докового хозяйства и плавучих доков различной грузоподъемности, в том числе до 150—200 т, и рассредоточение их по разным базам.

Самоотверженный труд рабочих и инженерно-технических работников судоремонтных мастерских и предприятий, безупречное выполнение заданий командования по ремонту катеров и кораблей безусловно способствовали успешной боевой деятельности Черноморского флота.

## ДЕЯТЕЛИ РОССИЙСКОЙ ШКОЛЫ ПРИКЛАДНОЙ МЕХАНИКИ В ЭМИГРАЦИИ: Г. Н. ПИО-УЛЬСКИЙ

**В. В. Балабин, А. В. Волков**

Среди выдающихся ученых русского зарубежья видное место принадлежит профессору Георгию Николаевичу Пио-Ульскому (1864—1938). О его жизни и деятельности имеется ряд публикаций, в том числе в посмертном издании книги ученого «Русская эмиграция и ее значение в культурной жизни других народов», вышедшей на русском языке в Белграде в 1939 г., помещены содержательные статьи профессора В. В. Фармаковского «Очерк жизни и деятельности Г. Н. Пио-Ульского» и А. В. Попова «Научно-технические труды проф. Г. Н. Пио-Ульского». Попов, в частности, отмечал, что Пио-Ульский «дал нам целый ряд крупных и оригинальных научно-технических трудов в широкой области паровой техники, в особенности в области построения и теории паровых турбин, будучи в этой области новатором и в русской, и в сербской технической литературе» [1]. Однако, у себя на родине имя Пио-Ульского, после его эмиграции в Югославию, надолго исчезло со страниц научно-технических и иных публикаций. Пожалуй, первым, кто вспомнил об опальном ученом, был известный историк и кораблестроитель профессор А. Н. Холодилин, который в изданной в 1992 г. в Санкт-Петербурге книге «Ленинградский кораблестроительный. Факультет — институт — университет» кратко рассказал о научно-педагогической деятельности Георгия Николаевича и его отъезде за границу. Спустя три года видную роль Пио-Ульского в «разработке теоретических основ, связанных с созданием и внедрением новой техники на кораблях» дореволюционного флота России отметил профессор вице-адмирал В. Н. Буров в монографии «Отечественное военное кораблестроение в третьем столетии своей истории». Более подробные биографические сведения о Г. Н. Пио-Ульском были опубликованы в 1997 г. В. П. Борисовым в энциклопедическом биографическом словаре «Русское зарубежье. Золотая книга эмиграции. Первая треть XX века» [2].

Г. Н. Пио-Ульский родился 24 января 1864 г. в Пскове в семье директора губернской гимназии. Начав учебу в Пскове, среднее образование он завершил в Петербурге (во Введенской гимназии). Окончив в 1884 г. Морское инженерное училище в Кронштадте, по-

лучил специальность инженера-механика флота. Затем совершенствовал образование в Николаевской морской академии, прошел полный курс по механическому отделению в 1890 г. Уже в этот период имел возможность ознакомиться с организацией машиностроительно-

го производства в Швеции, куда был послан для приемки судовых двигателей минных транспортов «Дунай» и «Буг». С 1891 г. Георгий Николаевич преподавал в Кронштадтском инженерном училище сначала математику и сопротивление материалов, позднее специализировался в области проектирования судовых машин. Один из бывших курсантов училища много лет спустя вспоминал о первых шагах на преподавательской стезе 27-летнего преподавателя: «Интересный, всегда отлично одетый, чрезвычайно вежливый, с легкой иронией читающий новый курс — вспомогательных [судовых] механизмов (1891 г.). Увлекался новейшими достижениями науки и техники вообще, а морской в частности, и совершенно ясно предвидя грядущее развитие военного кораблестроения, покойный всей душой отдавался борьбе в надлежащих инстанциях за увеличение числа воспитанников, расширение сметы и увеличение бюджета на учебные пособия и практические занятия, лаборатории, мастерские и пр.» [3].

В 1896 г. молодого ученого пригласили в Петербургский институт инженеров путей сообщения на должность преподавателя (с 1913 г. — экстраординарный профессор) по кафедре паровых машин и основ машиностроения. На этой кафедре он одним из первых в России оборудовал лабораторию для испытаний паровых машин — нового вида двигателей, получивших широкое распространение с середины 90-х годов XIX века, а также вел лабораторные занятия со студентами. С. П. Тимошенко, окончивший этот институт в 1901 г., с

большой теплотой вспоминал руководителя своего дипломного проекта: «Руководитель, Пио-Ульский, относился к своим обязанностям очень добросовестно и старался разъяснить все мои затруднения. Тут было совершенно ясно видно, насколько качество работы студента зависит от интереса, проявляемого к заданию руководителем. Паровая машина, по сути дела, должна быть вне главного интереса будущего путейского инженера, а я затратил на этот проект больше энергии, чем на все прочие» [4].

Пио-Ульский был одним из учредителей в 1896 г. Общества морских инженеров, имевшего своей целью «дать возможность морским инженерам следить за прогрессом морской техники и содействовать этому прогрессу» [5]. Председателем Общества был избран будущий начальник Морского инженерного училища полковник корпуса корабельных инженеров А. И. Пароменский, а Г. Н. Пио-Ульский в 1898—1913 гг. был редактором печатного органа — «Вестника Общества морских инженеров»<sup>1</sup> и одновременно из номера в номер вел хронику текущей жизни Общества. Благодаря энергичной деятельности редактора в «Вестнике» публиковались интересные научно-технические статьи многих известных кораблестроителей, включая самого Г. Н. Пио-Ульского. Например, весьма актуальной для флотской практики была его работа «Водоопреснительные аппараты», в которой автор предложил методы контроля за их эксплуатацией, а также свой вариант расчета стоимости опреснения воды на морских судах. Ряд его статей знакомил морских инженеров с новейшими технологиями того времени, к их числу можно отнести: «Искусственное производство холода и механическое приготвление льда», «Успех машиностроения в области вспомогательных судовых механизмов», «Энтропийные диаграммы для насыщенных паров и их приложение к исследованию несовершенств работы паровых машин» и др.

В 1902 г. в Петербурге вышел в свет капитальный двухтомный труд Пио-Ульского «Проектирование морских паровых машин», в котором последовательно рассмотрены сначала паровые поршневые машины, а затем паровые турбины и двигатели внутреннего сгорания. В 1906 г. он избран профессором кораблестроительного отделения Петербургского политехнического института по кафедре судовых котлов, машин и турбин, где проработал до 1917 г. (с 1914 г. — заслуженный профессор). На его кафедре началось преподавание новых для того времени дисциплин «Судовые паровые турбины» и «Судовые двигатели внутреннего сгорания». Одновременно он являлся профессором Николаевской морской академии. Ему



Г. Н. Пио-Ульский

принадлежит заслуга организации в институте лаборатории для испытания паровых машин и турбин. Педагогическую деятельность Пио-Ульский успешно сочетал с научно-производственной работой, с 1910 г. — являлся консультантом-конструктором на Балтийском судостроительном и механическом заводе морского ведомства. К числу его разработок относится выполненный совместно с инженерами завода «Brown—Bowery» проект паровых турбин для крейсеров «Кинбурн» и «Измаил» водоизмещением 32 500 т каждый.

В 1911 г. Георгий Николаевич организовал и до 1914 г. редактировал журнал «Теплоход», эпиграфом к нему послужили крылатые слова замечательного ученого-кораблестроителя К. П. Боклевского: «Будущее русского судоходства принадлежит теплоходам» [6]. «Выход в свет настоящего журнала, — писал Г. Н. Пио-Ульский в обращении к читателям первого номера, — имеющего целью содействовать распространению в широких кругах русского общества знаний по применению двигателей с внутренним сгоранием топлива к делу судоходства, является следствием переворота, совершающегося в настоящее время в области развития средств водного передвижения... Мы сознаем всю трудность и ответственность первого и единственного в России журнала, который должен отвечать на все возникающие запросы общества в деле быстро развивающегося теплоходства, но в то же самое время имеем полное основание надеяться выполнить принятую на себя задачу при помощи авторитетных наших сотрудников...» [7]. На страницах хорошо иллюстрированного журнала «Теплоход» публиковались статьи

известных кораблестроителей, российские и зарубежные новости кораблестроения. В 1915 г. на страницах этого журнала Г. Н. Пио-Ульский выступил с проблемной статьей о необходимости изыскания правительством России средств для развития отечественного теплоходостроения. «Нельзя не пожелать вмешательства правительства в дело поощрения развития дизелестроения, могущего быть выраженным в создании крупных по сумме премий за выработку мощного цилиндра двигателя с внутренним сгоранием топлива, удовлетворяющего всем тем условиям, каковые необходимы для этого двигателя при работе в судовых условиях» [8].

В 1915 г. «Общество морских инженеров» прекратило свою деятельность, но в том же году был образован «Союз морских инженеров», и одним из его учредителей стал Г. Н. Пио-Ульский. Он же был избран почетным членом Союза, наряду с И. Г. Бубновым, А. Н. Крыловым, С. П. Тимошенко и другими видными русскими учеными и инженерами-кораблестроителями. Основной задачей «Союза морских инженеров» стало содействие развитию морского и речного инженерного дела в России.

В период работы в России Пио-Ульский опубликовал на русском и иностранных языках около 30 научных работ, посвященных проблемам проектирования судовых машин и механизмов, а также вопросам теории расчета паровых турбин. В 1911 г. вышла в свет его монография «Кинематика шатунного механизма», в 1915 г. — «Курс вспомогательных судовых механизмов и аппаратов». Желая дать студентам, а также инженерам пособие, которое бы им помогло ясно и легко усвоить как сущность происходящих в турбине физических процессов, так и практически удобный расчет ее, он опубликовал обширный курс (335 стр.) «Паровые турбины. Теория турбин и их термодинамический расчет», который «по справедливости является первым в этой области вкладом в русскую техническую науку как по своему основательному теоретическому, так и по оригинальному практическому содержанию» [9]. В «Паровых турбинах» ученый впервые предложил новый способ их расчета. Когда Пио-Ульский работал на заводе «Brown—Bowery» в Бадене, то там в качестве исходной точки при расчетах турбин пользовались практической зависимостью эффективного КПД турбины от величины отношения суммы квадратов окружных скоростей во всех ступенях к адиабатическому перепаду тепла. Эта величина известна под названием «характеристическое число Парсонаса». Г. Н. Пио-Ульский показал теоретическую зависимость КПД на каждом отдельном венце

<sup>1</sup>В настоящее время — журнал «Судостроение».

турбины от числа Парсонса. В этом заключается одна из особенностей расчета турбины по методу Пио-Ульского, позднее дополненного для облегчения вычислений числовыми таблицами КПД на венце лопаток в функции от характеристического числа Парсонса — Пио-Ульского для различного типа ступеней турбины и для разных углов выхода пара из направляющих аппаратов. Описание этого метода вместе со вспомогательными таблицами было им опубликовано в берлинском журнале «Die Wärme» [10].

Возвращаясь вновь к курсу «Паровые турбины», следует отметить исключительную корректность и доброжелательность профессора Пио-Ульского к своим ученикам. Так, в приложении к курсу были опубликованы таблицы и диаграмма  $I-S$  для водяного пара по новейшим опытным данным, составленные студентом А. В. Поповым под руководством Г. Н. Пио-Ульского. Еще раньше учитель настоял на том, чтобы А. В. Попов предварительно опубликовал результаты проведенной работы в «Известиях Петроградского политехнического института» [11]. В предисловии к этой публикации Г. Н. Пио-Ульский писал: «Всем интересующимся турбостроением известно, какое большое значение в настоящее время приобрели графические таблицы  $I-S$  как средство упрощения необходимых для расчета турбин вычислений... Это обстоятельство привело меня к мысли предложить А. В. Попову заняться составлением диаграммы  $I-S$ , для чего необходимо было как собрать имеемый опытный материал по насыщенному и перегретому пару, так и найти путь к удобному согласованию данных опытов, полученных различными исследователями. В это весьма кропотливое дело А. В. Поповым было внесено много вдумчивости и самодеятельности и я с удовольствием приветствую появление как самой диаграммы, так и пояснительной к ней статьи с таблицами...» [12]. Полвека спустя, в 1967 г. профессор А. А. Моисеев отмечал, что «из заслуживающих внимания работ по паровым турбинам 1908—1918 гг. следует назвать тепловую диаграмму  $S-I$  для водяного пара, составленную впервые в нашей стране студентом кораблестроительного отделения А. В. Поповым под руководством Г. Н. Пио-Ульского» [13].

Октябрьскую революцию Г. Н. Пио-Ульский воспринял резко отрицательно, в 1917 г. уехал из Петрограда в Новочеркасск, где некоторое время работал в Донском политехническом институте, в следующем году переехал в Екатеринбург, где принимал деятельное участие в создании нового политехнического института. Вместе с остатками белой армии в 1920 г. он, будучи в чине генерал-майора корпуса корабельных инженеров (с 1911 г.), покинул Россию и пе-



Титульный лист журнала со статьей Г. Н. Пио-Ульского (Wärme. 1928. N 27)

реехал в Королевство сербов, хорватов и словенцев (с 1929 г. — Югославия). В Белградском университете он получил должность ординарного профессора по кафедре термодинамики, кинематики машин и паровых турбин, одновременно стал деканом технического факультета. На техническом факультете Георгий Николаевич организовал машинную лабораторию, а также Музей машин, в котором студенты могли ознакомиться с современной техникой и передовыми технологиями. Он был также одним из организаторов открытого в 1928 г. в Белграде Русского научного института [14], в 1928—1934 гг. был товарищем председателя правления этого института и в 1928—1933 гг. руководил в нем отделением математических и технических наук.

За рубежом не прекращалась научная деятельность Г. Н. Пио-Ульского. В 1926 г. он разработал оригинальный способ расчета регенеративного подогревания воды в паровых турбинах. Так как в энтропийной  $T-S$ -диаграмме, построенной для одного килограмма пара, не отражается изменение его массы, он предложил изображать регенеративный процесс в координатной системе  $T-S-G$ , где  $G$  — количество пара в килограммах. Этот способ Г. Н. Пио-Ульский описал в берлинском специализированном журнале [15].

Он внимательно следил за развитием турбостроения и новинками в этой области. В статье «Быстровращающиеся валы и их критические скорости», опубликованной в русскоязычном журнале «Инженер» в связи с появлением на техническом рынке турбин с большим числом оборотов, ученый обратил внимание на быстровращающиеся оси и осветил этот вопрос как теоретический, так и практический, предложив прибли-

женный метод нахождения критических скоростей вращающихся валов. В другой статье «История и современное направление прогресса паровой техники», напечатанной в «Записках Русского научного института», он высказал мысль об экономической целесообразности применения паровых турбин на паровозах и привел ряд практически осуществимых установок. Несколько работ Г. Н. Пио-Ульского были посвящены проблеме повышения КПД паровых, а также газовых турбин [16]. После всестороннего изучения особенностей работы и конструкции газовых турбин он пришел к оригинальной идее применения таких турбин в качестве глушителей звука выхлопных газов моторов самолетов для обеспечения бесшумности полета. Георгий Николаевич спроектировал газовую турбину, которая могла не только значительно снижать звук выхлопных газов, но и, используя их энергию, увеличивать мощность самого мотора. Свое изобретение Пио-Ульский запатентовал в Югославии и Великобритании.

Качественной подготовке студентов способствовали изданные Г. Н. Пио-Ульским в 1931—1937 гг. на сербском языке курс по паровым турбинам в 4-х частях, а в 1934 г. — учебник термодинамики, ставшие ценными учебными пособиями и настольными книгами для инженеров. Позднее эти учебники были переведены парижским издательством «Dunod» на французский язык.

Георгий Николаевич был активным организатором и участником съездов русских академических организаций за границей. На проходившем в сентябре 1928 г. в Белграде IV съезде он председательствовал на технологической секции и выступил с докладом «Современные направления прогресса паровой техники» [17]. Долгие годы Пио-Ульский возглавлял Союз русских инженеров в Югославии, принимал участие в издании этим Союзом единственного в эмиграции специализированного журнала «Инженер».

Оставаясь непримиримым противником большевизма, Г. Н. Пио-Ульский выступал против какого-либо сотрудничества с представителями СССР; эта бескомпромиссность сыграла значительную роль в его судьбе. Когда, например, он узнал об издании в СССР в 1931 г. его «курса паровых турбин» он оставил пост председателя Союза русских инженеров, а затем уволился из Русского научного института.

Г. Н. Пио-Ульский пользовался исключительным авторитетом в научных эмигрантских кругах. 24 января 1934 г. в связи с 70-летием со дня рождения маститого ученого чествовала 21 научная организация, и было получено свыше трехсот приветствий из разных стран.

Георгий Николаевич скончался после тяжелой и продолжительной болез-

ни 13 августа 1938 г. в Белграде. По свидетельству профессора В. В. Фармаковского, покойный «оставил наилучшую память как энергичный организатор, отличный профессор и отзывчивый коллега» [18]. До конца своих дней он горячо любил свою Родину, глубоко переживал происходившие после Октябрьской революции в ней перемены. В своем последнем выступлении, обращаясь к своим соотечественникам, проживающим за рубежом, он говорил: «Гордитесь, что вы русские, гордитесь Великим Отечеством, гордитесь этой чудной культурной страной и не берите примера с тех наших соотечественников-эмигрантов, которые, усвоив хорошо местный язык, стараются забыть, что они — русские» [19].

#### Литература

1. Попов А. В. Научно-технические труды проф. Г. Н. Пио-Ульского // Пио-Ульский Г. Н. Русская эмиграция и ее значение в культурной жизни других народов. Белград, 1939. С. 19.
2. Борисов В. П. Пио-Ульский Г. Н. // Русское зарубежье. Золотая книга эмиграции. Первая треть XX века. Энциклопедический биографи-

- ческий словарь. М., 1997. С. 499—500.
3. Ермаков Н. П. Памяти Г. Н. Пио-Ульского // Морской журнал. Прага. 1938. № 32 (12). С. 2—3 (218—219).
4. Тимошенко С. П. Воспоминания. 2-е издание. Киев, 1993. С. 65—66.
5. Пио-Ульский Г. Н. Очерк возникновения Общества морских инженеров и первые шаги его деятельности // Вестник Общества морских инженеров. 1898. Вып. 1. С. 1.
6. Богданов Б. В. Первенцы теплоходостроения (К 75-летию постройки теплохода «Вандал») // Судостроение. 1978. № 12. С. 56.
7. От редакции // Теплоход. 1911. № 1—2. С. 1.
8. Пио-Ульский Г. Н. По вопросу об изыскании средств для развития теплоходостроения в России // Теплоход. 1915. № 5—12. С. 183—184.
9. Попов А. В. Научно-технические труды проф. Г. Н. Пио-Ульского // Пио-Ульский Г. Н. Русская эмиграция и ее значение в культурной жизни других народов. Белград, 1939. С. 13.
10. Pio-Ulski G. Die Bestimmung der Stufenzahl sowie der Schaufelhöhen der Arbeitskränze bei Dampfturbinen // Die Wärme. Berlin. 1928. N 27. S. 475—478.
11. Попов А. В. Таблицы и диаграмма I—S для водяного пара по новейшим опытным данным (с 3 таблицами) с предисловием проф. Г. Н. Пио-Ульского // Известия Петроградского политехнического института. 1916. Т. 25.

- Вып. 1—2. С. 401—432.
12. Там же. С. 401.
13. Моисеев А. А. Очерк развития учебной и научной деятельности кафедры судовых турбин и турбинных установок // Труды Ленинградского кораблестроительного института. 1967. Вып. 55. С. 58.
14. Спекторский Е. В. Десятилетие Русского научного института в Белграде (1928—1938) // Записки Русского научного института в Белграде. 1939. Вып. 14. С. 1—27.
15. Pio-Ulski G. Das Regenerativ — Verfahren bei Dampfkraftanlagen // Archiv für Warmwirtschaft und Dampfkesselwesen, Berlin. 1926. N 10. S. 296—298.
16. Пио-Ульский Г. Н. О рациональном определении коэффициента полезного действия паровых турбин // Записки Русского научного института в Белграде. 1931. Вып. 4. С. 91—104; Пио-Ульский Г. Н. Заметка о коэффициенте полезного действия газовых машин // Записки Русского научного института в Белграде. 1933. Вып. 8. С. 129—133.
17. Четвертый съезд русских академических организаций за границей в Белграде (16—23 сентября 1928 г.). Белград, 1929. С. 31.
18. Фармаковский В. В. Профессор Г. Н. Пио-Ульский // Записки Русского научного института в Белграде. 1939. Вып. 14. С. 1—11.
19. Пио-Ульский Г. Н. Русская эмиграция и ее значение в культурной жизни других народов. Белград, 1939. С. 60.

## РЕФЕРАТЫ

УДК 629.561.1/2

**Ключевые слова:** дунайские буксиры-толкачи, движитель, КПД, маневренность.

**Новый подход к проектированию буксиров-толкачей/Б. Билен, М. Жерьял, Б. Билен-Катич, З. Лайч, М. Маринкович, З. Янкович // Судостроение. 1999. № 5. С. 9—15.**

Предлагается на дунайских буксирах-толкачах заменить движительные комплексы с традиционными рулями на новые, представляющие собой трехвинтовую систему с обычным средним винтом и боковыми «азимутальными» подруливающими устройствами. Это позволит создать новый тип буксиров-толкачей с меньшей длиной, сокращенным экипажем и более высокими маневренными и ходовыми качествами. Ил. 6. Табл. 5. Библиогр.: 15 назв.

УДК 629.12.041.001.24-182.2

**Ключевые слова:** судно, якорная система, позиционирование, окружающая среда.

**Шелангевич Т. Перемещение и качка судна с якорной системой позиционирования // Судостроение. 1999. № 5. С. 15—20.**

Дается способ расчета квазистатических перемещений плавучих объектов с якорной системой позиционирования. Ил. 7. Библиогр.: 13 назв.

УДК 624.074.4.046.2:629.58

**Ключевые слова:** метод, критическая нагрузка, цилиндрическая и полусферическая оболочка.

**Шитов А. И. Аналитический метод расчета несущей способности оболочек подводных технических средств // Судостроение. 1999. № 5. С. 20—22.**

Рассказывается о разработанном методе расчета критических нагрузок оболочек ПТС, основанный на доказательстве неизменности напряжений при достижении текучести в идеально упругопластическом материале и постоянстве отношений компонентов деформаций в упругом и пластическом состоянии. Приводятся примеры расчета критических нагрузок различных конструкций. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 621-83(1-81):629.5.035:629.585

**Ключевые слова:** подводные лодки, электропривод, вентильный привод, виброакустические характеристики.

**Никифоров Б. В. Развитие систем электропривода подводных лодок // Судостроение. 1999. № 5. С. 23—25.**

Анализируется развитие электроприводов различных типов, использующих-

ся на подводных лодках. Приводятся результаты экспертных оценок показателей качества регулируемых электроприводов, дается сравнение энергетических и массогабаритных характеристик приводов. Показывается, что вентильный привод с постоянными магнитами и реактивный индукторный будут находить все большее применение в судостроении. Ил. 1. Табл. 2.

УДК 629.827.001.36

**Ключевые слова:** многоцелевые подводные лодки ВМС США, характеристики, вооружение.

**Худяков Л. Ю. «Virginia» — вместо или вместе с «Seawolf»? // Судостроение. 1999. № 5. С. 25—31.**

Комментируется статья Г. Святова, опубликованная в журнале «U. S. Naval Institute Proceedings» за 1998 г. В статье рассматривается целесообразность сохранения в программе кораблестроения, наряду с «Virginia», АПЛ типа «Seawolf» и необходимость развития программы подводных лодок SSN—6881. Ил. 4. Табл. 3.

УДК 621.311.25:621.039(24)

**Ключевые слова:** атомная электростанция, подземное размещение, жидкометаллический теплоноситель.

**Долгов В. Н. Перспективы создания подземных атомных электростанций на базе корабельных технологий // Судостроение. 1999. № 5. С. 32—36.**

Излагаются принципы создания безопасной и экономически эффективной подземной АЭС на базе корабельных атомных энергетических установок. Показано, что в наиболее полной степени подземным АЭС отвечают АЭУ с реактором на быстрых нейтронах, охлаждаемым жидкометаллическим теплоносителем свинец—висмут, в моноблочном исполнении. Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.

УДК 681.518.5:007.52:629.5.03

**Ключевые слова:** диагностика, контроль, компьютерная обработка, судовое энергооборудование.

**Плотников Ю. И. Компьютеризированная система визуального контроля судовых энергетических установок // Судостроение. 1999. № 5. С. 36—39.**

Рассматриваются вопросы методического и аппаратного обеспечения визуального контроля судового энергооборудования. Дается оценка повышения метрологической и технико-экономической эффективности системы визуального контроля на базе компьютеризированных видео- и тепловизионных комплексов. Ил. 6. Библиогр.: 3 назв.



УДК 697.911.001.573:629.5

**Ключевые слова:** судовой отсек, вентиляция, расход воздуха.

**Старцев С. Б., Старцев Б. А. Оптимальные условия воздухообмена в замкнутых судовых помещениях//Судостроение. 1999. № 5. С. 40—42.**

Даются результаты разработки модели расчета процесса вентиляции судового отсека при различных условиях воздухообмена, определение эффективности воздухообмена для замкнутого судового помещения произвольных геометрических размеров. Приведена расчетная программа, позволяющая определять оптимальные режимы вентиляции. Ил. 6. Табл. 1. Библиогр.: 4 назв.

УДК 621.311.6:681.527.7:629.5

**Ключевые слова:** импульсный источник питания, электронное устройство, надежность, электромагнитная совместимость.

**Импульсные источники питания судовых систем автоматизации и вычислительных комплексов/Г. П. Петров, К. Л. Козловский, Д. В. Тогатов, А. И. Петров // Судостроение. 1999. № 5. С. 43—45.**

Рассматриваются возможные области использования импульсных источников питания в схемах автоматики судовых систем и вычислительных комплексов. Приведены результаты испытаний нескольких серий импульсных источников. Обосновывается целесообразность применения импульсных источников питания в судовых электронных устройствах. Ил. 3. Библиогр.: 3 назв.

УДК 532.511:621.315.27-752

**Ключевые слова:** плавучий провод, частотная вибрация, демпфирующие характеристики.

**Определение упругих и демпфирующих характеристик плавучего провода, используемого в современных системах связи/В. И. Высокский, Н. С. Иваненко, Б. К. Коровичев, Е. М. Никифоров//Судостроение. 1999. № 5. С. 45—47.**

Определяются применительно к плавучему проводу (ПП) с характерной геометрией и механикой экспериментально демпфирующие характеристики и обосновываются приведенный модуль Юнга для оценки помех ПП в условиях высокочастотной вибрации в жидкости. Ил. 5. Табл. 2. Библиогр.: 5 назв.

УДК 629.5.083.5.024:629.585

**Ключевые слова:** подводная лодка, ремонт на плаву, жесткость, прочность, корпус, сертификация.

**Гаврилюк Л. П. Определение сертификационной жесткости корпусов подводных лодок при ремонтных работах на плаву//Судостроение. 1999. № 5. С. 48—50.**

Предлагается методика определения критерия изменения расчетно-экспериментальных характеристик жесткости корпуса ПЛ, регламентирующего допустимость вскрытия съемных листов. Методика основана на измерениях упругой линии корпуса ПЛ и проведения расчетов на ПЭВМ по полученным данным. Ил. 1. Библиогр.: 2 назв.

УДК 621.791.019:539.319:629.5.023-192

**Ключевые слова:**

сборка, сварка, корпусные конструкции, остаточные сварочные напряжения, циклическая нагрузка.

**Ильин А. В., Леонов В. П., Хвалынский В. Н. Влияние остаточных напряжений от сборки и сварки монтажных стыков на циклическую прочность корпусных конструкций//Судостроение. 1999. № 5. С. 50—53.**

Рассматриваются варианты сборки и сварки монтажных стыковых соединений корпусных конструкций с расчетной оценкой характера распределения остаточных сварочных напряжений. В результате применения других вариантов сборки и очередности сварки стыка обшивки и пересекающего его набора выполнена оценка циклической прочности сварных соединений корпусных конструкций с обоснованием экономически более выгодного варианта технологии. Ил. 5. Библиогр.: 11 назв.

## ABSTRACTS

**A new approach to the design of pusher-tugs/B.Bilen, M.Zheryal, B.Bilen-Katic, Z.Laiich, M.Marinkovich, Z.Yankovich**

It is proposed to replace on Danube pusher-tugs their propulsion systems with conventional rudders to new propulsion systems with three screws, one of which is a conventional middle screw and two other side screws are azimuth thrusters. This will result in a new type of pusher-tugs with shorter length, reduced crew and higher manoeuvring and propulsive qualities.

**Shelangevich T. Movement and motions of a ship with anchor positioning system**

The author offers a method of calculating quasi-static movements of floating structures with anchor positioning system.

**Shitov A.I. Analytical method of calculation of bearing capacity of shells for underwater technical facilities**

The author offers a newly developed method of calculating critical stresses in shells for underwater technical facilities. The method is based on the assumption of steady stress upon reaching ductility in an ideally elastic-plastic material and a constant ratio of elastic and plastic strain components. Examples are given for calculation of critical stresses in various structures.

**Nikiforov B.V. Evolution of electric propulsion systems for submarines**

The paper presents an analysis of the development of various types of electric propulsion systems for submarines. The author presents results of expert evaluations of quality parameters of controlled electric drives and compares their characteristics such as power, weight and dimensions. It is pointed out that the valve actuator with permanent magnets and the reactive inductor drive will find an ever increasing application in shipbuilding.

**Khudyakov L.Yu. The «Virginia» — instead or together with the «Seawolf»?**

The paper comments the article by G.Svyatov published in U.S. Naval Institute Proceedings in 1998. The article considers the advisability of keeping the «Seawolf» type nuclear submarine, parallel with the «Virginia», in the ship construction program and the need of further developing the program of SSN-6881 submarines.

**Dolgov V.N. Outlook for the development of underground nuclear power stations based on shipbuilding technologies**

The author considers principles of developing a safe and cost-effective underground nuclear power station based on shipboard nuclear powerplants. It is pointed out that the most suitable for underground nuclear power stations are nuclear-propulsion plants with fast-neutron reactors cooled with lead-bismuth liquid-metal coolant of monoblock construction.

**Plotnikov Yu.I. Computer-aided multipurpose system for visual supervision of marine powerplant technical facilities**

The author deals with problems of software and hardware support for visual supervision of marine power generating plants. Methods are evaluated to improve metrological, engineering and economic efficiency of visual supervision based on computer-aided video and infra-red imaging systems.

**Startsev S.B., Startsev B.A., Optimum conditions of air exchange in enclosed ship spaces**

Investigation results of a calculation model are presented for various conditions of air exchange in ventilation of a ship compartment. An air exchange efficiency is determined for an enclosed ship space of random geometry. A calculation program is given to determine optimum ventilation modes.

**Petrov G.P., Kozlovsky K. L., Togatov D.V., Petrov A.I. Pulsed power sources for shipboard automation and computer systems**

The authors consider potential fields of application of pulsed power sources in automation circuits of ship systems and computer complexes. The use of pulsed power sources in shipboard electronic systems is justified.

**Determination of elastic and damping characteristics of floating wire used in modern communications systems/V.I. Vysotsky, N.S. Ivanenko, B.K. Korovichev, E.M. Nikiforov**

Damping characteristics of a floating wire having specific geometry and mechanical properties have been determined experimentally and a reduced Young's modulus has been selected for evaluation of noise in floating wire under the conditions of high-frequency vibration in liquids.

**Gavrilyuk L.P. Determination of certified rigidity of submarine hull under repair afloat**

A procedure is proposed for determination of a criterion of submarine hull rigidity variation to allow removal of replaceable shell plates. The procedure is based on measuring a submarine hull elastic line and processing the resultant data on a personal computer.

**Ilyin A.V., Leonov V.P., Khvalynsky V.N. Evaluation of the effect of residual stresses resulting from assembly and welding of erection joints on cyclic strength of hull structures**

The authors offer alternative methods of assembly and welding of erection joints of hull structures with quantitative evaluation of distribution patterns of post-weld residual stresses. Based on application of various versions of assembly and welding sequence of plating butts and transverse framing, an evaluation of cyclic strength of welded joints of hull structures has been made and a more profitable technique chosen.